

研究施設等廃棄物浅地中処分施設における廃棄体の  
受入基準の設定  
—充填固化体の耐埋設荷重—

Waste Acceptance Criteria for Waste Packages Destined for Near Surface Disposal Containing  
Radioactive Waste from Research, Industrial and Medical Facilities

岡田 翔太 出雲 沙理 仲田 久和 辻 智之  
坂井 章浩 天澤 弘也

Shota OKADA, Sari IZUMO, Hisakazu NAKATA, Tomoyuki TSUJI  
Akihiro SAKAI and Hiroya AMAZAWA

バックエンド研究開発部門  
廃棄物対策・埋設事業統括部  
Radioactive Waste Management and Disposal Project Department  
Sector of Decommissioning and Radioactive Waste Management

November 2016

Japan Atomic Energy Agency

日本原子力研究開発機構

本レポートは国立研究開発法人日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。  
本レポートの入手並びに著作権利用に関するお問い合わせは、下記あてにお問い合わせ下さい。  
なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ホームページ (<http://www.jaea.go.jp>)  
より発信されています。

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 研究連携成果展開部 研究成果管理課  
〒319-1195 茨城県那珂郡東海村大字白方2番地4  
電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency.  
Inquiries about availability and/or copyright of this report should be addressed to  
Institutional Repository Section,  
Intellectual Resources Management and R&D Collaboration Department,  
Japan Atomic Energy Agency.  
2-4 Shirakata, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195 Japan  
Tel +81-29-282-6387, Fax +81-29-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

© Japan Atomic Energy Agency, 2016

研究施設等廃棄物浅地中処分施設における廃棄体の受入基準の設定

－ 充填固化体の耐埋設荷重 －

日本原子力研究開発機構 バックエンド研究開発部門 廃棄物対策・埋設事業統括部

岡田 翔太、出雲 沙理、仲田 久和、辻 智之、坂井 章浩、天澤 弘也

(2016年9月8日受理)

日本原子力研究開発機構（以下、「原子力機構」という。）が計画している研究施設等廃棄物の浅地中処分施設で受け入れる廃棄体は、第二種廃棄物埋設規則に規定された廃棄体の技術基準に適合していることが求められる。廃棄体の技術基準の一つには、「埋設された場合において受けるおそれのある荷重に耐える強度を有すること。」とされ、国によって確認を受けなければならない。

そのため、廃棄物対策・埋設事業統括部では、これまでに各拠点における技術基準に適合する廃棄体の製作に備えて、廃棄体作製に係る基本手順の原則を検討してきており、一部の拠点においてはその検討結果を採り入れて不燃性の固体状の放射性廃棄物を分別し、これに係る作業記録を作成して保管・管理している。

本報告書では、その際の分別作業記録に基づき廃棄物の組成を設定し、基本手順に従い容器へ収納、モルタル充填材の充填、固型化、養生を行って模擬廃棄体を製作して、コンクリートピット埋設設備に俵積み方式で埋設処分した場合を想定した実載荷試験と、トレンチ埋設設備に埋設処分した場合を想定した実載荷試験を行い、それぞれの模擬廃棄体の変位量及びひずみ量等を測定し模擬廃棄体の耐埋設荷重を設定した。

模擬廃棄体の耐埋設荷重は、原子力機構が計画している研究施設等廃棄物の浅地中処分施設の概念設計において想定した条件において、耐埋設荷重に係る技術基準に適合すると判断できるものであり、基本手順は、耐埋設荷重の観点からも妥当なものである見通しが得られた。

---

本報告書は、三菱マテリアル株式会社が国立研究開発法人日本原子力研究開発機構との契約により実施した業務成果に基づくものである。

旧本部事務所:〒319-1112 茨城県那珂郡東海村村松 4-49

Waste Acceptance Criteria for Waste Packages Destined for Near Surface Disposal Containing  
Radioactive Waste from Research, Industrial and Medical Facilities

Shota OKADA, Sari IZUMO, Hisakazu NAKATA, Tomoyuki TSUJI, Akihiro SAKAI  
and Hiroya AMAZAWA

Radioactive Waste Management and Disposal Project Department  
Sector of Decommissioning and Radioactive Waste Management  
Japan Atomic Energy Agency  
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received September 8, 2016)

Radioactive waste packages, which Japan Atomic Energy Agency (JAEA) is planning to dispose of, must meet the technical requirements specified in the rules for the disposal of Category 2 nuclear fuel material or materials contaminated by nuclear fuel material. One of the requirements is that radioactive waste has enough strength to withstand the load when it is disposed of finally by burial method. JAEA is required to prove the compliance of the waste package with the technical standard because we shall obtain the confirmation of the regulator (in this case the Nuclear Regulation Authority).

JAEA has been preparing an operating procedure manual for quality control of radioactive waste disposal to be applied to the processing of the waste packages. Raw wastes generated by JAEA are segregated and stored by a method specified in the manual. The composition of raw wastes from records of the segregation process was characterized so far. Simulated waste packages were produced by placing the waste materials in a 200 liter drum, which was then filled with mortar, followed by curing in a controlled manner.

The static load test was conducted to measure deformation and strain performance of the simulated waste package. Compression apparatuses which can imitate loading conditions in pit-type and trench-type facility that are planned by JAEA were used.

Based on the test result, waste packages produced in accordance with the manual met the technical requirement under the condition.

Keywords: Waste Package, Disposal Facility, Compressive Strength

---

This work was based on the study performed by Mitsubishi Materials Corporation under contract with the Japan Atomic Energy Agency.

目次

1. はじめに.....	1
2. 耐埋設荷重試験を実施するにあたっての前提 .....	2
2.1 耐埋設荷重試験の想定.....	2
2.2 ピット処分に係る耐埋設荷重.....	2
2.3 トレンチ処分に係る耐埋設荷重 .....	2
2.4 試験体.....	3
2.5 基本手順の妥当性の確認 .....	4
3. ピット処分に係る耐埋設荷重試験 .....	5
3.1 耐埋設荷重試験の測定項目 .....	5
3.2 耐埋設荷重試験の方法.....	5
3.2.1 試験装置 .....	5
3.2.2 計測システム .....	5
3.2.3 荷重方法 .....	5
3.2.4 変位量の測定方法 .....	6
3.2.5 ひずみ量の測定方法.....	6
3.3 耐埋設荷重試験の結果.....	6
3.3.1 試験体 30【P ロート流下時間 30 秒のモルタルを充填した模擬廃棄体】 .....	6
3.3.2 試験体 40【P ロート流下時間 40 秒のモルタルを充填した模擬廃棄体】 .....	7
3.3.3 試験体 50【P ロート流下時間 50 秒のモルタルを充填した模擬廃棄体】 .....	8
3.4 ピット処分に係る耐埋設荷重の設定 .....	9
3.4.1 ピット処分に係る耐埋設荷重設定の考え方.....	9
3.4.2 廃棄体積載時の傾斜量の評価 .....	9
3.4.3 廃棄体の定置条件の設定 .....	10
3.4.4 廃棄体の積載時の傾斜量（缶径の変形量）に係る耐埋設荷重 .....	10
3.4.5 ピット処分に係る廃棄体の耐埋設荷重の設定 .....	10
4. トレンチ処分に係る耐埋設荷重試験.....	11
4.1 耐埋設荷重試験の測定項目 .....	11
4.2 耐埋設荷重試験の方法.....	11
4.2.1 試験装置 .....	11
4.2.2 計測システム .....	11
4.2.3 荷重方法 .....	11
4.2.4 変位量の測定方法 .....	12
4.2.5 ひずみ量の測定方法.....	12
4.2.6 鋼製円筒殻容器内の土圧の測定.....	13
4.3 鋼製円筒殻容器内の地盤材料の施工方法 .....	14
4.3.1 地盤材料の選定.....	14
4.3.2 地盤材料の土質試験.....	14

4.3.3	地盤材料の施工のうえでの性能目標.....	14
4.3.4	地盤材料の施工.....	15
4.3.5	地盤材料投入装置の性能確認 .....	16
4.3.6	模型地盤の施工管理.....	16
4.4	試験結果.....	17
4.4.1	鋼製円筒殻容器内の地盤材料の施工結果 .....	17
4.4.2	試験体【200 リットルドラム缶 H 級】 .....	17
4.4.3	試験体【200 リットルドラム缶 M 級】 .....	18
4.4.4	試験体 30【P ロート流下時間 30 秒のモルタルを充填した模擬廃棄体】 .....	19
4.4.5	試験体 40【P ロート流下時間 40 秒のモルタルを充填した模擬廃棄体】 .....	21
4.5	トレンチ処分に係る耐埋設荷重の設定.....	22
4.5.1	トレンチ処分に係る耐埋設荷重設定の考え方 .....	22
4.5.2	廃棄体の定置条件の設定 .....	23
4.5.3	埋設が終了した場合における最下段の廃棄体が受ける土圧の評価 .....	23
4.5.4	トレンチ処分に係る廃棄体の耐埋設荷重の設定.....	23
5.	まとめ.....	24
	謝辞.....	24
	参考文献.....	25
	付録 原子力機構における廃棄体作製に係る基本手順の原則 妥当性確認箇所抜粋 .....	119

## Contents

1. Introduction .....	1
2. Preconditions for the load tests.....	2
2.1 Assumptions.....	2
2.2 Mechanical strength related to a pit-type disposal .....	2
2.3 Mechanical strength related to a trench-type disposal .....	2
2.4 Test objects .....	3
2.5 Verification of an operating procedure manual .....	4
3. Load tests related to a pit-type disposal.....	5
3.1 Measured variable of the load test.....	5
3.2 Load test method.....	5
3.2.1 Test apparatus.....	5
3.2.2 Measurement system .....	5
3.2.3 Loading method.....	5
3.2.4 Measurement of the amount of displacement .....	6
3.2.5 Measurement of the amount of strain .....	6
3.3 Test results related to a pit-type disposal.....	6
3.3.1 Test objects 30 <b>【A flow-down time of 30 seconds in a P-funnel tests】</b> .....	6
3.3.2 Test objects 40 <b>【A flow-down time of 40 seconds in a P-funnel tests】</b> .....	7
3.3.3 Test objects 50 <b>【A flow-down time of 50 seconds in a P-funnel tests】</b> .....	8
3.4 Evaluation of anti-load strength related to a pit-type disposal .....	9
3.4.1 Policy for determining anti-load strength .....	9
3.4.2 Evaluation of amount of tilt.....	9
3.4.3 Setting of fixed requirement .....	10
3.4.4 Anti-Load strength evaluated by measuring amount of inclination of waste packages.....	10
3.4.5 Setting of pit-type anti-load strength.....	10
4. Load tests related to a trench-type disposal .....	11
4.1 Measured variable of the load test.....	11
4.2 Load test method.....	11
4.2.1 Test apparatus.....	11
4.2.2 Measurement system .....	11
4.2.3 Loading method.....	11
4.2.4 Measurement of the amount of displacement .....	12
4.2.5 Measurement of the amount of strain .....	12
4.2.6 Measurement of soil pressure in Steel Cylindrical Shell Vessel .....	13
4.3 Construction method of grout materials in Steel Cylindrical Shell Vessel.....	14
4.3.1 Selection of grout materials .....	14
4.3.2 Soil test .....	14

4.3.3	Performance target to construct ground materials .....	14
4.3.4	Construction method of ground materials.....	15
4.3.5	Performance confirmation of soil input implement .....	16
4.3.6	Construction control of model ground.....	16
4.4	Test results related to trench-type disposal.....	17
4.4.1	Construction results of ground materials in Steel Cylindrical Shell Vessel.....	17
4.4.2	Test objects 【200 litter drum H class】 .....	17
4.4.3	Test objects 【200 litter drum M class】 .....	18
4.4.4	Test objects 30 【A flow-down time of 30 seconds in a P-funnel tests】 .....	19
4.4.5	Test objects 40 【A flow-down time of 40 seconds in a P-funnel tests】 .....	21
4.5	Evaluation of anti-load strength related to a trench-type disposal.....	22
4.5.1	Policy for determining anti-load strength .....	22
4.5.2	Setting of fixed requirement .....	23
4.5.3	Evaluation of soil pressure for bottom waste packages.....	23
4.5.4	Setting of trench-type anti-load strength.....	23
5.	Summary.....	24
	Acknowledgements.....	24
	References .....	25
	Appendix.....	119



図表・写真リスト

表 2-1	先行施設における耐埋設荷重強度に係る参考解説	26
表 2-2	耐埋設荷重強度の確保の方法	27
表 2-3	模擬廃棄物の組成	28
表 2-4	モルタル充填材の配合条件	28
表 3-1	変位計の種類及び数量	29
表 3-2	ひずみ計の種類及び数量	29
表 3-3	廃棄体のピット内に定置時の離隔距離	30
表 3-4	積載段数による変位量差と傾斜量の関係	30
表 4-1	変位計の設置位置、種類、数量（試験体：空のドラム缶）	31
表 4-2	変位計の設置位置、種類、数量（試験体 30 及び 40）	31
表 4-3	ひずみ計の設置位置、種類、数量（試験体：空のドラム缶）	31
表 4-4	ひずみ計の設置位置、種類、数量（試験体 30 及び 40）	32
表 4-5	土圧計の設置位置、種類、数量（試験体 30 及び 40）	32
表 4-6	せん断抵抗角 $\Phi$ の一般的な評価値	33
表 4-7	土質試験の試験項目と規格	33
表 4-8	土質試験の結果	33
表 4-9	三軸圧縮試験結果	34
表 4-10	地盤投入装置の仕様	34
表 4-11	地盤材料投入装置の性能確認試験における乾燥密度の測定結果	35
表 4-12	乾燥密度の平均値及び標準偏差	35
表 4-13	模型地盤の製作結果	35
図 3-1	ピットに係る試験装置	36
図 3-2	ピットに係る計測システム	36
図 3-3	試験体全体の変位計の設置位置	37
図 3-4	試験体蓋及びチャイム（底板）の変位計の設置位置	37
図 3-5	試験体輪帯部の変位計の設置位置	38
図 3-6	チャイム（底板）及び蓋のひずみ計の計測位置	38
図 3-7	第一輪帯、第二輪帯及び固型化部頂面のひずみ計の計測位置	39
図 3-8	治具接触点及び蓋付近のひずみ計の計測位置	39
図 3-9	試験体 30 全体の鉛直変位量	40
図 3-10	チャイム及び蓋の軸方向変位量（試験体 30）	40
図 3-11	チャイム部及び輪帯部の変位量（試験体 30）	41
図 3-12	チャイム及び蓋のひずみ量（試験体 30）	42
図 3-13	第一輪帯、第二輪帯及び固型化部頂面のひずみ量（試験体 30）	43
図 3-14	治具接触点及び蓋付近のひずみ量（試験体 30）	44
図 3-15	試験体 40 全体の鉛直変位量	45

図 3-16	チャイム及び蓋の軸方向変位量 (試験体 40) .....	45
図 3-17	チャイム部及び輪帯部の変位量 (試験体 40) .....	46
図 3-18	チャイム及び蓋のひずみ量 (試験体 40) .....	47
図 3-19	第一輪帯、第二輪帯及び固型化部頂面のひずみ量 (試験体 40) .....	48
図 3-20	治具接触点及び蓋付近のひずみ量 (試験体 40) .....	49
図 3-21	試験体 50 全体の鉛直変位量 .....	50
図 3-22	チャイム及び蓋の軸方向変位量 (試験体 50) .....	50
図 3-23	チャイム部及び輪帯部の変位量 (試験体 50) .....	51
図 3-24	チャイム及び蓋のひずみ量 (試験体 50) .....	52
図 3-25	第一輪帯、第二輪帯及び固型化部頂面のひずみ量 (試験体 50) .....	53
図 3-26	治具接触点及び蓋付近のひずみ量 (試験体 50) .....	54
図 3-27	廃棄体の傾斜量評価に係る概念図 .....	55
図 3-28	廃棄体の定置状態(図 3-29 においてドラム缶の軸方向から着目) .....	55
図 3-29	ピット内の廃棄体の定置条件 .....	56
図 4-1	トレンチに係る試験装置 .....	57
図 4-2	上部载荷アーム .....	58
図 4-3	鋼製円筒殻容器 .....	58
図 4-4	固定アーム (底板) .....	58
図 4-5	トレンチに係る計測システム .....	59
図 4-6	ドラム缶蓋部の変位計の設置位置 .....	59
図 4-7	ドラム缶輪帯部の変位計の設置位置 .....	60
図 4-8	鋼製円筒殻容器内の変位計の設置位置 .....	60
図 4-9	試験体の蓋部の変位計の設置位置 .....	61
図 4-10	試験体の上部空げき部の変位計の設置位置 .....	61
図 4-11	鋼製円筒殻容器内の変位計の設置位置 (試験体) .....	61
図 4-12	ドラム缶蓋部及びチャイム部のひずみ計の設置位置 .....	62
図 4-13	ドラム缶輪帯部のひずみ計の設置位置 .....	62
図 4-14	ドラム缶輪帯部上部のひずみ計の設置位置 .....	62
図 4-15	ドラム缶輪帯部上部の 2 軸ひずみ計の設置位置 .....	63
図 4-16	試験体蓋部及びチャイム部のひずみ計の設置位置 .....	63
図 4-17	試験体輪帯部のひずみ計の設置位置 .....	63
図 4-18	試験体上部空げき部のひずみ計の設置位置 .....	64
図 4-19	試験体内の固型化部上面のひずみ計の設置位置 .....	64
図 4-20	鋼製円筒殻容器内の土圧計の設置位置 .....	65
図 4-21	鋼製円筒殻容器内の底部の土圧計の設置位置 .....	65
図 4-22	砂の乾燥密度 $\rho_d$ とせん断抵抗角 $\Phi$ との関係 .....	66
図 4-23	ノズル・ネット法の概念図 .....	67
図 4-24	ノズル配置 (正三角形配置) .....	67
図 4-25	地盤材料投入装置 (上から見た図) .....	67

図 4-26	地盤材料投入の概要（横から見た図）	68
図 4-27	地盤製作の層分割	69
図 4-28	地盤密度確認用サンプラーの配置	69
図 4-29	地盤材料投入装置の性能確認試験結果における乾燥密度の正規確率プロット	70
図 4-30	地盤材料全体の変位量（200 リットルドラム缶 H 級）	71
図 4-31	蓋部の変位量（200 リットルドラム缶 H 級）	72
図 4-32	輪帯部の水平方向の変位量（200 リットルドラム缶 H 級）	73
図 4-33	蓋部及びチャイムのひずみ量（200 リットルドラム缶 H 級）	74
図 4-34	輪帯部のひずみ量（200 リットルドラム缶 H 級）	75
図 4-35	輪帯上部の鉛直ひずみ量（200 リットルドラム缶 H 級）	76
図 4-36	輪帯上部の水平ひずみ量（200 リットルドラム缶 H 級）	77
図 4-37	地盤材料内の土圧（200 リットルドラム缶 H 級）	78
図 4-38	地盤材料底部の土圧（200 リットルドラム缶 H 級）	79
図 4-39	地盤材料全体の変位量（200 リットルドラム缶 M 級）	80
図 4-40	蓋部の変位量（200 リットルドラム缶 M 級）	81
図 4-41	輪帯部の水平方向の変位量（200 リットルドラム缶 M 級）	82
図 4-42	蓋部及びチャイムのひずみ量（200 リットルドラム缶 M 級）	83
図 4-43	輪帯部のひずみ量（200 リットルドラム缶 M 級）	84
図 4-44	輪帯上部の鉛直方向のひずみ量（200 リットルドラム缶 M 級）	85
図 4-45	輪帯上部の水平方向のひずみ量（200 リットルドラム缶 M 級）	86
図 4-46	地盤材料内の土圧（200 リットルドラム缶 M 級）	87
図 4-47	地盤材料底部の土圧（200 リットルドラム缶 M 級）	88
図 4-48	地盤材料全体の鉛直方向の変位量との関係（試験体 30）	89
図 4-49	蓋部の変位量（試験体 30）	90
図 4-50	固型化部頂面及び上部空げき部の水平方向の変位量（試験体 30）	91
図 4-51	蓋部及びチャイムのひずみ量（試験体 30）	92
図 4-52	輪帯部のひずみ量（試験体 30）	93
図 4-53	上部空げき部のひずみ量（試験体 30）	94
図 4-54	固型化部頂面のひずみ量（試験体 30）	95
図 4-55	地盤材料内の土圧（試験体 30）	96
図 4-56	地盤材料底部の土圧（試験体 30）	97
図 4-57	地盤材料全体の鉛直方向の変位量（試験体 40）	98
図 4-58	蓋部の変位量（試験体 40）	99
図 4-59	固型化部頂面及び上部空げき部の水平方向の変位量（試験体 40）	100
図 4-60	蓋部及びチャイムのひずみ量（試験体 40）	101
図 4-61	輪帯部のひずみ量（試験体 40）	102
図 4-62	上部空げき部のひずみ量（試験体 40）	103
図 4-63	固型化部頂面のひずみ量（試験体 40）	104
図 4-64	地盤材料内の土圧（試験体 40）	105

図 4-65	地盤材料底部の土圧（試験体 40）	106
図 4-66	想定するトレンチ埋設設備の断面図	107
写真 1	ドラム缶に模擬廃棄物を収納した状況 1	108
写真 2	ドラム缶に模擬廃棄物を収納した状況 2	108
写真 3	試験体への充填状況 1	108
写真 4	試験体への充填状況 2	109
写真 5	試験体への充填状況 3	109
写真 6	P ロート流下時間 30 秒のモルタルを充填した試験体の硬化後の状況	109
写真 7	特殊治具	110
写真 8	試験体の設置状況	110
写真 9	蓋部の変位計の設置状況	110
写真 10	試験体側部の変位計の設置状況	111
写真 11	試験体側部のひずみ計の設置状況	111
写真 12	固化化部頂面のひずみ計の設置状況	111
写真 13	試験体蓋部のひずみ計の設置状況 1	112
写真 14	試験体蓋部のひずみ計の設置状況 2	112
写真 15	載荷終了後の状態（試験体 30）	112
写真 16	載荷終了後の状態（試験体 40）	113
写真 17	載荷終了後の状態（試験体 50）	113
写真 18	200 リットルドラム缶内の変位計の設置状況	113
写真 19	試験体 30 の変位計の設置状況	114
写真 20	固定アーム（底板）への試験体の設置	114
写真 21	鋼製円筒殻容器	114
写真 22	地盤材料投入装置を鋼製円筒殻容器の上に設置した状況	115
写真 23	ノズルから地盤材料を投入している状況	115
写真 24	鋼製円筒殻容器内にドラム缶を設置した状況	115
写真 25	土圧計の設置状況 1	116
写真 26	土圧計の設置状況 2	116
写真 27	地盤材料の投入完了時の状況	116
写真 28	載荷終了後の状態（200 リットルドラム缶 H 級-3）	117
写真 29	載荷終了後の状態（200 リットルドラム缶 H 級-4）	117
写真 30	載荷終了後の状態（200 リットルドラム缶 M 級-3）	117
写真 31	載荷終了後の状態（200 リットルドラム缶 M 級-4）	118
写真 32	載荷終了後の状態（試験体 30）	118
写真 33	載荷終了後の状態（試験体 40）	118

## 1. はじめに

日本原子力研究開発機構（以下、「原子力機構」という。）は、独立行政法人日本原子力研究開発機構法の一部を改正する法律（平成 20 年法律第 51 号）に基づき、原子力機構及び国内の研究施設等から平成 60 年度までに発生が見込まれる低レベル放射性廃棄物（以下、「研究施設等廃棄物」という。）のうち、浅地中処分対象の廃棄物に係る埋設事業の実施主体となっている。

研究施設等廃棄物の浅地中埋設処分にあたっては、「核燃料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」（以下、「原子炉等規制法」という。）第 51 条の 6 において、廃棄体が技術基準に適合していることについて原子力規制委員会の確認を受けることが定められている。この技術基準は、「核燃料物質又は核燃料物質によつて汚染された物の第二種廃棄物埋設の事業に関する規則」（以下、「第二種廃棄物埋設規則」という。）第 8 条に定められており、そのうち廃棄体の物理的な性能に係る基準として、同条第 2 項第 1 号に、「放射線障害防止のため、放射性廃棄物を原子力規制委員会の定める方法により容器に封入し、又は容器に固型化してあること。」、同条第 2 項第 5 号に、「埋設された場合において受けるおそれのある荷重に耐える強度を有すること。」がある。

廃棄物対策・埋設事業統括部では、これらの技術基準を満たした廃棄体の製作を進めるために、「原子力機構における廃棄体作製に係る基本手順の原則」<sup>1)</sup>（以下、「基本手順」という。）を検討した。基本手順は、原子力機構において発生・保管している固体状の放射性廃棄物を統一的な廃棄体とすることを目的として、廃棄体の製作に関する基本的な事項について作製手順を検討してきたものであり、商用原子力発電所で適用している「充填固化体の標準的な製作方法」<sup>2)</sup>の考え方を取り入れている。

これまでに、基本手順にしたがって、模擬廃棄物を 200 リットルドラム缶に収納し、セメント系充填材の充填、固型化、養生を行って模擬の廃棄体を製作し、その内部に大きな空げきがなく、一体となるように充填されていることを確認した<sup>1)</sup>。これにより、第二種廃棄物埋設規則第 8 条第 2 項第 1 号にある「放射線障害防止のため、放射性廃棄物を原子力規制委員会の定める方法により容器に封入し、又は容器に固型化してあること。」に対して適合する見通しが得られている。

本報告書では、これまでに製作した模擬の廃棄体を用いて、「埋設された場合において受けるおそれのある荷重に耐える強度を有すること。」への適合性を確認する。これにより、研究施設等廃棄物について、基本手順に従って製作した廃棄体は、第二種廃棄物埋設規則第 8 条第 2 項第 1 号及び第 5 号に対して適合することを示す。

## 2. 耐埋設荷重試験を実施するにあたっての前提

### 2.1 耐埋設荷重試験の想定

廃棄物対策・埋設事業統括部では、「埋設処分業務の実施に関する計画」（平成 21 年 11 月 13 日 文部科学大臣並びに経済産業大臣の認可及び平成 24 年 3 月 28 日 変更認可）に基づき、研究施設等廃棄物の性状、含有核種、放射能濃度及び廃棄体の発生予測、我が国における一般的な立地条件、原子炉等規制法等の安全規制要件を考慮して研究施設等廃棄物の浅地中処分施設の概念設計<sup>3)</sup>（以下、「概念設計」という。）を実施した。

概念設計においては、埋設設備として比較的放射能濃度のレベルの低い廃棄体を埋設するための外周仕切設備を設けたコンクリートピット型埋設設備と、極めて放射能濃度のレベルの低い廃棄体を埋設するための素掘り方式のトレンチ型埋設設備を設置するものとしている。

このうち、コンクリートピット型埋設設備へ埋設する廃棄体については、「埋設された場合において受けるおそれのある荷重に耐える強度を有すること。」（以下、「耐埋設荷重」という。）の技術基準へ適合していることを示すため、概念設計におけるコンクリートピット型埋設設備で廃棄体をピット内に埋設した場合に受けるおそれのある最大の荷重を模擬した載荷試験を行った。

トレンチ型埋設設備においては、現状の第二種廃棄物埋設規則では、コンクリート等廃棄物のみが埋設対象となっており、耐埋設荷重が求められる廃棄体は埋設対象となっていない。しかし、概念設計におけるトレンチ埋設設備では廃棄体も埋設する設計としていることから、同設備において廃棄体を土中に埋設した場合に受けるおそれのある荷重を模擬した載荷試験を行った。

### 2.2 ピット処分に係る耐埋設荷重

耐埋設荷重に係る技術基準は、廃棄物埋設設備に廃棄体を埋設後、廃棄体が潰れないことを求めている<sup>4)</sup>。

廃棄体を埋設する先行施設<sup>5)</sup>においては、埋設された場合において廃棄体を受けるおそれのある最大荷重について、廃棄体を俵積み<sup>6)</sup>に 9 段積載した際に最も下段の廃棄体を受ける荷重とされ、その想定は 10t としており、具体的な耐埋設荷重強度の確保の方法は表 2-1 に示すとおりとされている。

概念設計においては、コンクリートピット型埋設設備に埋設する研究施設等廃棄物の充填固化体<sup>7)</sup>について、溶融固化体も埋設対象としており、その最大重量を 1.5t/本とし、また、廃棄体埋設形態は先行施設と同様に俵積みとしている。そのため、模擬の廃棄体（以下、「試験体」という。）に 300kN まで載荷して、研究施設等廃棄物の充填固化体の俵積みにおける耐埋設荷重を確認した。

### 2.3 トレンチ処分に係る耐埋設荷重

トレンチ処分する廃棄体についても、耐埋設荷重に係る技術基準は、廃棄物埋設設備に廃棄体を埋設後、廃棄体が潰れないことを求めると想定する。

概念設計におけるトレンチ型埋設設備の廃棄体の埋設形態は縦置きであり、素掘りトレンチの底面に廃棄体を定置後 25cm の中間覆土を行い、次の廃棄体を縦置きに定置するとしていることから、試験体に対してこの埋設形態を模擬した載荷試験を行うこととした。

トレンチ型埋設設備において、廃棄体を受けるおそれのある最大荷重は、最上段（3段）まで廃

棄体を定置し中間覆土及び上部覆土が完了後に最下段の廃棄体が受ける土圧である。覆土については、第二種廃棄物埋設規則第6条第1項第4号では、「廃棄物埋設地は、土砂等を充てんすることにより、当該廃棄物埋設地が終了した後において空げきが残らないように措置すること。」が要求される。

これらにより、研究施設等廃棄物の充填固化体を縦置きにして、上記基準を満たした土中に埋没させた状態で200kNまで載荷して、研究施設等廃棄物の充填固化体の縦置きにおける耐埋設荷重を確認した。

## 2.4 試験体

試験体は、文献<sup>1)</sup>において製作した、研究施設等廃棄物の模擬廃棄物をセメント系充填材で固型化した充填固化体である。模擬廃棄物の組成は、研究施設等廃棄物の分別作業記録に基づき、不燃性固体廃棄物の組成を調査した結果に基づいて設定している。模擬廃棄物は、基本手順に従って200リットルドラム缶へ収納し、モルタル充填材の充填、固型化、養生を行っている。モルタル充填材は、Pロート流下時間30秒、40秒、50秒の3種のモルタルとして、実大規模の試験体を製作した。試験体の内部に有害な空げきのないこと及び一体となるように充填されていることを確認したものである。

試験体の主要な内容物は金属廃棄物であることから、表2-1中(1)強度が高い固体状廃棄物を固型化する場合（廃棄物強度で担保する場合）に相当する。その場合、先行事例においては、容器種類、廃棄物の強度、固型化材料等の強度、上部空げき量、内部空げき量に対して対策をとることで耐埋設荷重を確保するとしている。

これらの因子について、本試験においても先行事例と同等の対応をとった。先行事例及び本試験における対応方法を表2-2に示す。本試験におけるこれらの対応は基本手順に規定した内容であり、これに従って以下の試験体を製作した。なお、製作状況を写真1から写真6に示す。

### (1) 試験に供した容器

JIS Z 1600 (2006) オープンヘッドドラム、M級 タイプD

### (2) 模擬廃棄物の収納方法

容器に収納した模擬廃棄物、収納方法は以下の通りとした。

#### ① 廃棄物種類

強度の高い金属配管、板、弁類の他、ケーブル、計器類とした。なお、廃棄物組成は、既往文献で開缶調査をして設定した組成とした。これを表2-3に示す。

#### ② 収納方法

作業員が人手により、模擬廃棄物を密に収納した。

### (3) 固型化材料等の仕様

#### ① 材料

・セメント：普通ポルトランドセメント（JIS R 5210(2009)）

・砂：砕砂（最大寸法：5mm、表乾密度：2.66g/cm<sup>3</sup>、粗粒率：2.99）

・減水剤 : 高性能 AE 減水剤 ポリカルボン酸エーテル系化合物

②配合 (重量比)

表 2-4 に示す。

③硬化後の一軸圧縮強度

70MPa 以上

(4) 固型化材料の充填方法

自然充填により、充填速度を 30L/min とした。

(5) 固型化材料の充填量

上部空げきが 20%となるように充填した。これは、基本手順で定めた上部空げき 10%を保守的に模擬している。

## 2.5 基本手順の妥当性の確認

試験体は、基本手順に従って製作した模擬廃棄体であり、その内部に有害な空げきの無いこと及び一体となるように充填されていることを確認したものである。これに対して、概念設計において想定した定置条件による耐埋設荷重試験を行い、試験体の耐埋設荷重を設定する。設定した耐埋設荷重が、その定置条件において受けるおそれのある荷重よりも十分に大きいと判断できる場合、基本手順に従って製作した充填固化体は、概念設計の定置条件においては、耐埋設荷重に係る技術基準に適合すると判断できる。



### 3. ピット処分に係る耐埋設荷重試験

不燃性の放射性固体廃棄物を模擬した金属類を 200 リットルドラム缶に収納した内部に P ロート流下時間 30 秒、40 秒、50 秒のモルタル充填材で充填して製作した試験体（以下、それぞれについて「試験体 30」、「試験体 40」、「試験体 50」という。）を用いて、耐埋設荷重試験を行い、次のことを確認した。

- ・基本手順にしたがって、不燃性の固体状の放射性廃棄物を分別し、金属廃棄物等を直接 200 リットルドラム缶に収納し製作した充填固化体が、概念設計で想定した俵積みで十分な耐埋設荷重強度を有すること。

#### 3.1 耐埋設荷重試験の測定項目

ピット処分に係る耐埋設荷重を確認するために、試験体の変位量とひずみ量を測定した。試験体の変位量は、試験体自体の変形量を把握するため、また、ひずみ量は、試験体の鋼材の耐力を把握するために測定した。測定位置は、廃棄体をピット内に俵積みにした場合主にドラム缶の底板、蓋、輪帯によって耐荷重が負担される構造となっていることから、当該部位を中心に計測器を設置した。

#### 3.2 耐埋設荷重試験の方法

##### 3.2.1 試験装置

載荷試験には、試験体がピット内で俵積み積載された状態で受ける荷重を模擬できる特殊治具を備えた試験装置により行った。試験装置は、H 型鋼で構成した加力フレーム、ドラム缶を模擬した加力治具（上下部）、載荷のための油圧ジャッキ及び荷重を測定するロードセルからなる。図 3-1 にドラム缶用特殊治具を装着した場合の装置の概要と設置状況を示す。フレームの概略寸法は、幅 4.5m×奥行 3.6m×高さ 5.4m である。加力は油圧ジャッキにて行い、最大容量は 3,000kN である。ロードセルには特殊治具の装着が可能で、球座が取り付けられている。

##### 3.2.2 計測システム

加力治具の加力に伴い発生する試験体の変位及びひずみは、それぞれ、変位計及びひずみゲージ（1 軸、2 軸）により計測する。図 3-2 に計測システムを示す。荷重計、変位計及びひずみゲージはスイッチボックスを経由してデータロガーに接続されている。測定信号は、スイッチボックスを介して AD 変換される。測定速度は 0.06 秒であり、計測データは常時モニタし静的ひずみ計測ソフトウェア（(株) 東京測器研究所 TDS/THS-7120）を用いて記録した。

##### 3.2.3 載荷方法

試験体への載荷は、一方向単調荷重として約 5kN ずつ、最大荷重 300kN 程度までとした。加力は油圧ジャッキにて行い、加力治具の静荷重による変形を試験体に生じさせないため下方から上方へ加力した。加力治具は、俵積み状態を模擬するため、厚さ 30mm の鋼管を削り出したドラム缶状で、試験体以上の剛性とするために内部はグラウトモルタルが充填されている。ドラム缶状の加力治具の寸法は、JIS Z 1600 (2006) オープンヘッドドラムタイプ D の許容差であるこ

とを確認した。重量を軽減するため、形状を半円状とし中央部は変位計を設置するための間隔を設けた。加力治具を写真 7 に、試験体の設置状況を写真 8 に示す。

### 3.2.4 変位量の測定方法

試験体の変形量を測定するため、変位計を

- ① ドラム缶全体の鉛直変位（特殊治具間の間隔：d1～d4）
- ② ドラム缶の底板（以下、「チャイム部」という。）淵周及び輪帯部（鉛直変位：d5～d10、水平変位：d11～d16）
- ③ チャイム部及び蓋部（軸方向変位：d17～d22）

に設置した。変位計の容量は、想定される変形量に応じて(株)東京測器研究所製 CDP-100、50、25 を使用した。それぞれの容量は、100mm、50mm、25mm である。ドラム缶の変位計の計測位置を図 3-3、図 3-4、図 3-5 に、変位計の設置状況を写真 9、写真 10 に、変位計の種類及び数量を表 3-1 に示す。

### 3.2.5 ひずみ量の測定方法

試験体のひずみを測定するため、ひずみ計を

- ① 輪帯部（1 軸（円周方向）：s1～s8）
- ② 加力治具接触点のドラム缶外部（2 軸（円周、軸方向）：s9～s12）
- ③ チャイム部淵周（1 軸（円周）：s13～s16）
- ④ チャイム部底面（2 軸（鉛直、水平方向）：s17～s19）
- ⑤ 固型化部頂面（1 軸（鉛直、水平方向）：s20～s22）
- ⑥ 蓋付近（2 軸（円周、軸方向）：s23～s26）
- ⑦ 蓋（1 軸（鉛直方向）：s27）

に設置した。試験体の載荷荷重はモルタル充填材で大きく負担されると考えられるため、固型化部頂面にゲージ長さ 60mm の(株)東京測器研究所製 PL-60-11 を設置した。

ドラム缶鋼材のひずみ計は、ゲージ長さ 3mm の軟鋼用に用いられる(株)東京測器研究所製 FCA-3-11（2 軸）、FLA-3-11（1 軸）を使用した。ひずみゲージの計測位置を図 3-6、図 3-7、図 3-8 に、ひずみ計の設置状況を写真 11、写真 12、写真 13、写真 14 に、ひずみ計の種類及び数量を表 3-2 に示す。

## 3.3 耐埋設荷重試験の結果

試験体は、すべて 300kN 載荷しても破壊しなかった。試験体ごとに、3.2 の試験方法により測定した変位量、ひずみ量について以下に示す。

### 3.3.1 試験体 30【P ロート流下時間 30 秒のモルタルを充填した模擬廃棄体】

#### (1)【試験体 30】の変形

##### ①【試験体 30】の鉛直方向、チャイム（底板）及び蓋の変形

【試験体 30】へ載荷した荷重及び試験体全体の鉛直方向の変位量（治具間の間隔：d1～d4）の関係を図 3-9 に示す。試験は、306kN で終了した。その荷重において、チャイム及び蓋部には 5mm

程度の縮みがあった。蓋部の変位量はチャイムに比べて大きい。

【試験体 30】のチャイム（d17～d19）及び蓋（d20～d22）軸方向の変位量を図 3-10 に示す。チャイムは容器外側に凸、蓋は内側に凹となる変形となった。チャイムと蓋の軸方向の変位量はともに 1mm 程度であった。

## ② 【試験体 30】のチャイム部及び輪帯部の変形

【試験体 30】へ 306kN 載荷した際のチャイム部及び輪帯部の変位量（試験体上下面：d5～d10、側部：d11～d16）を図 3-11 に示す。試験体上下面（d5～d10）については、試験体の収縮により変位量は負となった。側部（d11～d16）については、試験体の左右方向で対照の変位が測定されていることから、試験体位置のずれを計測したものと考える。

【試験体 30】の載荷終了後の状態を写真 15 に示す。試験体内部を観察した結果、固型化部の頂面（モルタル充填材の表面）にクラック及び剥落は無いことを確認した。

## (2) 【試験体 30】のひずみ

### ① 【試験体 30】のチャイム及び蓋のひずみ

チャイムの円周方向ひずみ、鉛直方向ひずみ、水平方向ひずみ、蓋のひずみを図 3-12 に示す。いずれの部位においても、鋼材の耐力の基準とされる 0.2% $\theta$ (以下、「0.2%ひずみ」という。ここでは、2,000 $\mu$ ( $1 \times 10^{-6}$ )を 0.2%としている。)より大きなひずみは発生していない。

### ② 【試験体 30】の輪帯部及び固型化部頂面のひずみ

輪帯部及び固型化部頂面のひずみ測定結果を図 3-13 に示す。輪帯部の円周方向のひずみは最大で、220 $\mu$  であり、0.2%ひずみより大きなひずみは生じていない。また、固型化部頂面においても大きなひずみは発生していない。

### ③ 【試験体 30】の治具接触点及び蓋付近のひずみ

加力治具と試験体が接触する部分（第一輪帯付近）のドラム缶外面の円周方向ひずみ、軸方向ひずみ、ドラム缶蓋付近の円周方向ひずみ、軸方向ひずみの測定結果を図 3-14 に示す。加力治具と試験体が接触する部分（第一輪帯付近）に 0.2%ひずみより円周方向及び軸方向に大きなひずみは発生していない。

加力治具と試験体が接触するドラム缶の蓋付近では、最大 1,280 $\mu$  で 0.2%ひずみ以下である。ドラム缶の軸方向のひずみは引張りであり、これに伴って円周方向には圧縮ひずみが生じていると考えられる。

## 3.3.2 試験体 40 【P ロート流下時間 40 秒のモルタルを充填した模擬廃棄体】

### (1) 【試験体 40】の変形

#### ① 【試験体 40】の鉛直方向、チャイム及び蓋の変形

【試験体 40】へ載荷した荷重及び試験体全体の鉛直方向の変位量（治具間の間隔：d1～d4）の関係を図 3-15 に示す。試験は、306kN で終了した。その荷重において、蓋部には 5mm 程度の縮みがあった。蓋部の変位量はチャイムに比べて大きい。

【試験体 40】のチャイム（d17～d19）及び蓋（d20～d22）軸方向の変位量を図 3-16 に示す。チャイムと蓋の軸方向の変位量はともに 1mm 程度であった。

② 【試験体 40】のチャイム部及び輪帯部の変形

【試験体 40】へ 306kN 載荷した際のチャイム部及び輪帯部の変位量（試験体上下面：d5～d10、側部：d11～d16）を図 3-17 に示す。試験体上下面（d5～d10）については、試験体の収縮により変位量は負となった。側部（d11～d16）については、試験体の左右方向で対照の変位が測定されていることから、試験体位置のずれを計測していると考えられる。

【試験体 40】の載荷終了後の状態を写真 16 に示す。試験体内部を観察した結果、固型化部頂面にクラック及び剥落は無いことを確認した。

(2) 【試験体 40】のひずみ

① 【試験体 40】のチャイム及び蓋のひずみ

チャイムの円周方向ひずみ、鉛直方向ひずみ、水平方向ひずみ、蓋のひずみを図 3-18 に示す。いずれの部位においても、0.2%ひずみより大きなひずみは発生していない。

② 【試験体 40】の輪帯部及び固型化部頂面のひずみ

輪帯部及び固型化部頂面のひずみ測定結果を図 3-19 に示す。輪帯部の円周方向のひずみは最大で 100 $\mu$  であり、0.2%ひずみより大きなひずみは生じていない。また、固型化部頂面においても大きなひずみは発生していない。

③ 【試験体 40】の治具接触点及び蓋付近のひずみ

加力治具と試験体が接触する部分（第一輪帯付近）のドラム缶外面の円周方向ひずみ、軸方向ひずみ、蓋付近の円周方向ひずみ、軸方向ひずみの測定結果を図 3-20 に示す。0.2%ひずみより大きなひずみは発生していない。

3.3.3 試験体 50 【P ロート流下時間 50 秒のモルタルを充填した模擬廃棄体】

(1) 【試験体 50】の変形

① 【試験体 50】の鉛直方向、チャイム及び蓋の変形

【試験体 50】へ載荷した荷重及び試験体全体の鉛直方向の変位量（治具間の間隔：d1～d4）の関係を図 3-21 に示す。試験は、308kN で終了した。その荷重において、蓋部には 4mm 程度、チャイム部は 2mm 程度の縮みがあった。蓋部の変位量はチャイム部に比べて大きい。

【試験体 50】のチャイム（d17～d19）及び蓋（d20～d22）軸方向の変位量を図 3-22 に示す。チャイムと蓋の軸方向の変位量はともに 1mm 以下であった。

② 【試験体 50】のチャイム部及び輪帯部の変形

【試験体 50】へ 308kN 載荷した際のチャイム部及び輪帯部の変位量（試験体上下面：d5～d10、側部：d11～d16）を図 3-23 に示す。試験体上下面（d5～d10）については、試験体の収縮により変位量は負となった。側部（d11～d16）については、試験体の左右方向で対照の変位が測定され

ていることから、試験体位置のずれを計測していると考えられる。

【試験体 50】の载荷終了後の状態を写真 17 に示す。試験体内部を観察した結果、固型化部頂面にクラック及び剥落は無いことを確認した。

## (2) 【試験体 50】のひずみ

### ① 【試験体 50】のチャイム及び蓋のひずみ

チャイムの円周方向ひずみ、鉛直方向ひずみ、水平方向ひずみ、蓋のひずみを図 3-24 に示す。いずれの部位においても、0.2%ひずみより大きなひずみは発生していない。

### ② 【試験体 50】の輪帯部及び固型化部頂面のひずみ

輪帯部及び固型化部頂面のひずみ測定結果を図 3-25 に示す。輪帯部の円周方向のひずみは最大 150 $\mu$  で 0.2%ひずみより大きなひずみは生じていない。また、固型化部頂面においても、大きなひずみは発生していない。

### ③ 【試験体 50】の治具接触点及び蓋付近のひずみ

加力治具と試験体が接触する部分（第一輪帯付近）のドラム缶外面の円周方向ひずみ、軸方向ひずみ、蓋付近の円周方向ひずみ、軸方向ひずみの測定結果を図 3-26 に示す。0.2%ひずみより大きなひずみは発生していない。

## 3.4 ピット処分に係る耐埋設荷重の設定

本節では、3.3 の試験結果を実測したデータに基づき、試験体毎の耐埋設荷重の設定を行う。

### 3.4.1 ピット処分に係る耐埋設荷重設定の考え方

廃棄体の耐埋設荷重については、埋設された場合において受けるおそれのある荷重に耐える強度を有していることが求められている。200 リットルドラム缶で製作された廃棄体をコンクリートピットの区画内に俵積みした場合、荷重によりドラム缶が変形し廃棄体列が傾斜する。また、変形に伴って生じた部材の伸びについては、降伏点に達している場合、延性破壊によりドラム缶の変形が進展するおそれがある。このため、想定する廃棄体の定置条件（9 段の俵積み）における廃棄体列の傾斜量に係る耐荷重と、廃棄体の耐力に係る耐埋設荷重をそれぞれ考慮し、それらの保守性を勘案して試験体の耐埋設荷重とする。

3.3 の試験結果により、ひずみ量は鋼材の耐力の基準とされる 0.2%ひずみより小さいことから、耐力の観点からは廃棄体の耐埋設荷重は 3.3 で载荷した荷重 300kN と設定した。また、ドラム缶の変形量の観点からの耐埋設荷重を以下により検討した。

### 3.4.2 廃棄体積載時の傾斜量の評価

廃棄体を俵積みした場合、その上段に積載される廃棄体の積載荷重によりドラム缶の径が蓋部付近で比較的大きく縮み、真円度が低下する。このため上載される廃棄体は、蓋方向に傾斜し隣接する廃棄体列又はコンクリートピットの側壁と相互に接触し破損する恐れが生じる。また、廃棄体の定置においては、ピット内に充填するモルタルの充填スペースを確保することも必要<sup>7)</sup>と

なることから、廃棄体の載荷時の傾斜量を評価するものとした。

廃棄体の載荷時の傾斜量 ( $\Delta$ ) は、次式により求めるものとし、最下段の廃棄体の傾斜角度がそのまま最上段の傾斜角度となるとして保守的に評価することとした。図 3-27 に廃棄体の傾斜量評価に係る概念を示す。

$$\Delta = \delta \times H/B$$

$$H = (n-1) \times A + \varphi$$

ここに、 $\Delta$ ：最上段の廃棄体の水平変位（傾斜量：mm）

$\delta$ ：変位差（最下段の廃棄体のチャイム部と蓋部の変位差：mm）

$B$ ：廃棄体の長さ（=900mm）

$n$ ：積上げ段数

$H$ ： $n$  段積載時の廃棄体の高さ(mm)

$A$ ：俵積み時の廃棄体中心の間隔（=496mm(図 3-28 参照)）

$\varphi$ ：廃棄体の直径（=620mm）

### 3.4.3 廃棄体の定置条件の設定

廃棄体を区画内に俵積みした場合の寸法は、埋設する際に使用するクレーンの定置精度、ドラム缶の許容寸法誤差、コンクリートピットの施工精度を踏まえて、表 3-3、図 3-28 及び図 3-29 に示す寸法とした。なお、3.3 の試験における廃棄体への加力治具の載荷位置は、本定置条件に基づいて設定した。

### 3.4.4 廃棄体の積載時の傾斜量（缶径の変形量）に係る耐埋設荷重

最下段の廃棄体の変位差（廃棄体のチャイム部と蓋部の変位差）を 1mm、5mm、10mm、15mm と仮定した場合、廃棄体を 20 段まで俵積みした際の最上段の廃棄体の水平変位（傾斜量）を 3.4.2 項の式により求めた。その結果を表 3-4 に示す。

また、図 3-29 より、廃棄体間の離隔距離の最小値は 125mm であるため、廃棄体が傾斜しても最上段の廃棄体の水平変位が 125mm 以下となるような、最下段のドラム缶の変位差を求めた。

表 3-4 によれば、廃棄体を 9 段俵積みとする場合、最上段の廃棄体の水平変位は最下段のドラム缶の変位差が 10mm 以上となると、廃棄体同士の離隔距離が確保できなくなり(125 mm以下となり)、廃棄体の定置が困難となる。

一方、試験体 30~50 においては、3.3 の試験結果より 300kN 載荷した際に変位差は、いずれの試験体でも 5mm 以下である。このため、9 段積みで定置する場合は、変形量の観点からの耐埋設荷重を 300kN として設定した。

### 3.4.5 ピット処分に係る廃棄体の耐埋設荷重の設定

これらにより、不燃性（金属類）の固体状の放射性廃棄物について、基本手順にしたがって分別し、直接 200 リットルドラム缶に収納して製作した充填固化体は、耐埋設荷重を 300kN に設定した。これは、概念設計におけるコンクリートピット埋設設備において、受けるおそれのある最大荷重となる、俵積みで 9 段積みをした場合に最下段の廃棄体を受ける荷重に対して、十分な耐埋設荷重を有するものとなる。

#### 4. トレンチ処分に係る耐埋設荷重試験

「試験体 30」及び「試験体 40」を用いて耐埋設荷重試験を行い、次のことを確認した。

- ・基本手順にしたがって、不燃性の固体状の放射性廃棄物を分別し、金属廃棄物を直接 200 リットルドラム缶に収納し製作した充填固化体が土中に縦置きに埋没させた状態において十分な耐埋設荷重強度を有すること。

また、試験体と比較するために、内部に模擬廃棄物を収納していない空の JIS Z 1600 (2006) オープンヘッドドラムタイプ M 級、H 級について、縦置きに土中に埋没させた状態で耐埋設荷重試験を行った。

##### 4.1 耐埋設荷重試験の測定項目

トレンチ処分に係る耐埋設荷重を確認するために、試験体の変位量とひずみ量を測定した。試験体の変位量は、主として土圧による試験体の軸方向、水平方向の変形量を把握するため、また、ひずみ量は、試験体の部材の耐力を把握するために測定した。測定位置は、試験体を土中に縦置きにした場合、主にドラム缶の蓋、側板によって耐荷重が負担される構造となることから、当該部位を中心に計測器を設置した。

##### 4.2 耐埋設荷重試験の方法

###### 4.2.1 試験装置

載荷試験には、試験体が土中に埋没させた状態で受ける荷重を模擬するため、試験体、200 リットルドラム缶を収納できる鋼製円筒殻容器（直径 188mm×高さ 225mm）を備えた試験装置により行った。鋼製円筒殻容器を装着した試験装置の概略を図 4-1 に示す。鋼製円筒殻容器内には試験体等を設置した後、地盤材料を所定の管理の下に施工した。地盤材料は、円形の板及び H 型鋼で構成された上部載荷アーム（図 4-2 参照）と接地させ、鋼製円筒殻容器（図 4-3 参照）を下から支える固定アーム（（底板）図 4-4 参照）によって荷重を載荷する。載荷のための油圧ジャッキ及び荷重を測定するロードセルは固定アームの下に設置した。油圧ジャッキの容量は、1000kN である。試験装置の門型フレームの概略寸法は、幅 4.5m×奥行 3.6m×高さ 5.4m であり、その容量は 3,000kN である。

###### 4.2.2 計測システム

固定アーム（底板）の上昇による加力に伴って発生する試験体への変位量、ひずみ量及び土圧は、それぞれ、変位計、ひずみゲージ（1 軸、2 軸）及び土圧計により計測した。計測システムを図 4-5 に示す。荷重計、変位計、ひずみ計及び土圧計はスイッチボックスを経由してデータロガーに接続されている。測定信号は、スイッチボックスを介して AD 変換され測定速度は 0.06 秒である。計測データは常時確認しながら、静的ひずみ計測ソフトウェア（（株）東京測器研究所 TDS/THS-7120）を用いて記録した。

###### 4.2.3 載荷方法

試験体への載荷は、一方向単調荷重として約 2kN ずつ最大荷重 200kN 程度までとした。加力

は油圧ジャッキにて行い、鋼製円筒殻容器、上載アーム及び固定アーム（底板）の静荷重による変形を試験体に生じさせないため下方から上方へ加力した。

#### 4.2.4 変位量の測定方法

##### (1) 200 リットルドラム缶 H 級及び M 級

200 リットルドラム缶 H 級及び M 級の変形量を測定するため、変位計を

- ① 200 リットルドラム缶内側の蓋部（鉛直変位：d1～d5）
- ② 200 リットルドラム缶内側の第二輪帯部（水平変位：d6～d9）
- ③ 200 リットルドラム缶内側の第一輪帯部（水平変位：d10～d13）
- ④ 地盤材料施工部全体（鉛直変位：d14～d17）

に設置した。変位計の容量は、想定される変形量に応じて(株)東京測器研究所製 CDP-100、50、25 を使用した。それぞれの容量は、100mm、50mm、25mm である。ドラム缶の変位計の計測位置を図 4-6、図 4-7、図 4-8 に、変位計の設置状況を写真 18 に、変位計の種類及び数量を表 4-1 に示す。

##### (2) 試験体 30 及び 40

試験体 30 及び試験体 40 の変形量を測定するため、変位計を

- ① 試験体内側の固型化部と蓋の空間部（鉛直変位：d1～d5）
- ② 固型化部頂面付近（水平変位：d6～d9）
- ③ 試験体内側の固型化部と蓋の空間部（水平変位：d10～d13）
- ④ 地盤材料施工部全体（鉛直変位：d14～d17）

に設置した。変位計の容量は、想定される変形量に応じて(株)東京測器研究所製 CDP-100、25、25MT を使用した。それぞれの容量は、100mm、25mm、25mm である。変位計の計測位置を図 4-9、図 4-10、図 4-11 に、変位計の設置状況を写真 19 に、変位計の種類及び数量を表 4-2 に示す。

#### 4.2.5 ひずみ量の測定方法

##### (1) 200 リットルドラム缶 H 級及び M 級

200 リットルドラム缶 H 級及び M 級のひずみ量を測定するため、ひずみゲージを

- ① 200 リットルドラム缶外側の蓋部（2 軸（東西方向、南北方向）：s1～s5）
- ② 200 リットルドラム缶外側の第二輪帯部（1 軸（軸方向）：s6～s13）
- ③ 200 リットルドラム缶外側の第一輪帯部（1 軸（軸方向）：s14～s21）
- ④ 200 リットルドラム缶外側のチャイム部（1 軸（軸方向）：s22～s25）
- ⑤ 200 リットルドラム缶外側の第二輪帯上部（1 軸（軸方向）：s26,s28,s30,s32）
- ⑥ 200 リットルドラム缶外側の第二輪帯上部（2 軸（円周、軸方向）：s27,s29,s31,s33）
- ⑦ 200 リットルドラム缶外側の第一輪帯上部（1 軸（軸方向）：s34,s36,s38,s40）
- ⑧ 200 リットルドラム缶外側の第一輪帯上部（2 軸（円周、軸方向）：s35,s37,s39,s41）

に設置した。ひずみゲージは、ゲージ長さ 3mm の軟鋼用に用いられる(株)東京測器研究所製 FCA-3-11 (2 軸)、FLA-3-11 (1 軸) を使用した。ひずみ計の計測位置を図 4-12、図 4-13、図 4-14、



図 4-15 に、ひずみ計の種類及び数量を表 4-3 に示す。

## (2) 試験体 30 及び 40

試験体 30 及び試験体 40 のひずみ量を測定するため、ひずみ計を

- ① 試験体外側の蓋上部 (2 軸 (東西方向、南北方向) : s1~s5)
- ② 試験体外側の第二輪帯部 (1 軸 (軸方向) : s6~s9)
- ③ 試験体外側の第一輪帯部 (1 軸 (軸方向) : s10~s13)
- ④ 試験体外側のチャイム部 (1 軸 (軸方向) : s14~s17)
- ⑤ 試験体外側の固型化部上部-蓋部間 (1 軸 (軸方向) : s18,s20,s22s,s24)
- ⑥ 試験体外側の固型化部上部-蓋部間 (2 軸 (円周、軸方向) : s19,s21,s23,s25)
- ⑦ 試験体外側の固型化部頂面 (1 軸 (軸方向) : s26,s28,s30,s32)
- ⑧ 試験体外側の固型化部頂面 (2 軸 (円周、軸方向) : s27,s29,s31,s33)
- ⑨ 固型化部頂面 (1 軸 (軸方向) : s34~s37)

に設置した。試験体の載荷荷重は固型化部で主に負担されると考えられるため、セメント系充填材表面にゲージ長さ 60mm の(株)東京測器研究所製 PL-60-11 を設置した。

ひずみゲージは、ゲージ長さ 3mm の軟鋼用に用いられる(株)東京測器研究所製 FCA-3-11 (2 軸)、FLA-3-11 (1 軸) を使用した。ひずみ計の計測位置を図 4-16、図 4-17、図 4-18、図 4-19 に、ひずみ計の種類及び数量を表 4-4 に示す。

### 4.2.6 鋼製円筒殻容器内の土圧の測定

鋼製円筒殻容器内の地盤材料内の土圧を測定するため、土圧計を

- ① 固定アーム (底板) 部 (鉛直方向 : C1~C4)
- ② 地盤材料内における試験体の固型化部頂面高さ (鉛直方向 : C5~C8)
- ③ 地盤材料内における試験体の蓋部高さ (鉛直方向 : C9,C10,C12)
- ④ 試験体外側の蓋上面 (鉛直方向 : C11)
- ⑤ 鋼製円筒殻容器底面付近 (水平方向 : C13~C16)
- ⑥ 鋼製円筒殻容器内壁付近における試験体の固型化部頂面高さ (水平方向 : C17~C20)
- ⑦ 鋼製円筒殻容器内壁付近における試験体の蓋部高さ (鉛直方向 : C21~C24)

に設置した。土圧計は、(株)東京測器研究所製 KDC-500KPA を使用した。容量は 500kPa である。土圧計の計測位置を図 4-20、図 4-21 に、土圧計の種類及び数量を表 4-5 に示す。

### 4.3 鋼製円筒殻容器内の地盤材料の施工方法

トレンチ処分に係る耐埋設荷重試験では、空げきがなく、所定の強度・変形特性を有する土中に埋没させた状態で載荷する必要がある。このため、地盤材料の選定、土質試験、地盤材料の施工のうえでの性能目標の設定、地盤材料の施工方法、地盤材料の施工方法の性能確認、実際の地盤材料施工時の施工管理方法について検討した。

#### 4.3.1 地盤材料の選定

本試験では、鋼製円筒殻容器内に試験体を設置し試験体を地盤材料に埋没させることから、地盤材料は、トレンチ埋設設備の覆土材と同等の強度等の工学特性があることが望ましい。文献<sup>8)</sup>によると、覆土材は以下の条件を満たす必要があるとされ、地盤材料の選定においては、

- ① 覆土の安定のために締固め密度やせん断強さが大きいこと
- ② 覆土の安定に支障を及ぼすような膨張あるいは収縮のないこと

を考慮した。

文献調査の結果<sup>9),10),11)</sup>、地盤材料を用いた試験では工場で粒度調整された珪砂が使用されており、珪砂には、粒度に応じて1号から8号がある。号数が大きくなるほど粒度が小さくなり、珪砂6号及び7号は細砂に分類される。一般的に、砂はその粒度により強度特性が異なり、覆土に必要とされる地盤の安定性については、砂の強度特性（せん断抵抗角  $\Phi$ ）が大きいほど安定する傾向があり、粒度配合が良く、粗粒になるほどせん断抵抗角  $\Phi$  が大きくなる（表 4-6 参照）<sup>12)</sup>。このことから、細砂よりも、せん断抵抗角  $\Phi$  が大きく安定性が良いと考えられる中砂相当の珪砂5号を地盤材料として選定した。

#### 4.3.2 地盤材料の土質試験

鋼製円筒殻容器内の地盤材料の施工は、トレンチ処分施設における覆土を模擬したものとする。覆土は、「廃棄物埋設地の埋設が終了した場合において空げきが残らないように措置する」が求められ、その施工においては密度、強度・変形特性、含水比を管理する必要がある<sup>8)</sup>。このため、本試験で選定した珪砂5号について、表 4-7 に示す土質試験を実施した。その試験結果を表 4-8 に示す。三軸圧縮試験では、JIS A 1224 : 2009 により求めた最大乾燥密度となる  $1.624\text{g/cm}^3$  の供試体を空中落下法により製作した。供試体の寸法は、直径約 5cm、高さ約 10cm で、三軸試験器内に設置し、排水状態で軸荷重を載荷し(CD 条件)、破壊時の軸差応力を求める方法で実施した。CD 条件における圧密圧力は、50、100、200kN/m<sup>2</sup> の3通りとし、100kN の背圧を 100kN/m<sup>2</sup> とした。三軸圧縮試験の結果、CD 条件のせん断応力  $\tau$  と垂直応力  $\sigma$  の関係は次式で求めた。

$$\tau = 10.2 + \sigma \tan 40.2^\circ$$

#### 4.3.3 地盤材料の施工のうえでの性能目標

トレンチ処分施設における覆土は、密度比（現場で測定された締固め土の乾燥密度／締固め試験から得られた最大乾燥密度）により管理され、管理値は一般に 90~95%とされている<sup>8)</sup>。また、一般的に分級された砂が適切な締固めがされた場合、そのせん断抵抗角  $\Phi$  は 30° 程度となる<sup>12)</sup>。

これらを踏まえ、地盤材料の施工のうえでの性能目標としては、施工した砂の密度比（ここで

は相対密度( $D_r$ )を以下により求めた。)が 90%以上であること、また、そのせん断抵抗角  $\Phi$  が 30° 以上であることとした。

$$D_r = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}} = \frac{\rho_{dmax}(\rho_d - \rho_{min})}{\rho_d(\rho_{dmax} - \rho_{dmin})}$$

ここに、 $e$  : 試料の間隙比

$\rho_d$  : 試料の乾燥密度( $\text{g}/\text{cm}^3$ )

$e_{max}$  : 最も緩い状態の間隙比

$e_{min}$  : 最も密な状態の間隙比

$\rho_{dmax}$  : 最大乾燥密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )

$\rho_{dmin}$  : 最小乾燥密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )

本試験で用いた珪砂 5 号は、相対密度 70~100%の範囲で三軸圧縮試験を JGS 0524 : 2009 に基づき行ったところ、せん断抵抗角  $\Phi=30^\circ$ 以上となるのは相対密度 70% (乾燥密度  $\rho_d=1.513 \text{g}/\text{cm}^3$ ) 以上となる。また、相対密度が 90%以上となるのは、乾燥密度が  $1.585 \text{g}/\text{cm}^3$  のときである。三軸圧縮試験の結果を表 4-9 及び図 4-22 に示す。

以上より、鋼製円筒殻容器内の地盤材料の具体的な性能目標を、乾燥密度が  $1.585 \text{g}/\text{cm}^3$  以上の均質な地盤であることとした。

#### 4.3.4 地盤材料の施工

地盤材料の施工は、空中落下法により行った。空中落下法では、地盤材料である気乾状態の砂をホッパー等から自由落下させ土槽内へ撒きだし、砂の撒きだし口の口径やホッパーの位置を変化させ地盤材料を施工する方法である。本試験では、砂の撒きだし口 (ノズル) と金網(ネット)を組み合わせて地盤材料を施工する、ノズル・ネットを使用した地盤材料投入装置を使用した(以下、「ノズル・ネット法」という)<sup>13)</sup>。

ノズル・ネット法による地盤製作の概念を図 4-23 及び図 4-24 に示す。ノズル・ネット法では、目標とする密度となるように地盤を施工するために、ノズルの開口径、ネットの寸法、ネットー地盤間の距離 ( $h_1$ )、ノズルとネット間の距離( $h_2$ )、ノズルの配置( $d$ )を調整する。本試験では、これらの地盤材料投入装置のパラメータを表 4-10 とした。

地盤材料の施工は、鋼製円筒殻容器内において地盤材料の 1 回の撒きだし厚さが 150mm となるように図 4-25 に示す地盤材料投入装置の貯留部に約 200kg の珪砂 5 号を投入する。鋼製円筒殻容器内に地盤材料を満たすためには、8 回の撒きだしが必要となる。その手順を以下に示す。また、地盤材料の投入の概略を図 4-26 に示す。地盤材料の施工状況を写真 20 から写真 27 に示す。

- ① 試験体を鋼製円筒殻容器の内部中央に設置する。
- ② 鋼製円筒殻容器を固定アーム (底板) に固定する。
- ③ 地盤材料投入装置の貯留部に、1 回の撒きだし量に相当する約 200kg の地盤材料(珪砂 5 号)を投入する。
- ④ フォークリフトにて地盤材料投入装置を鋼製円筒殻容器の上側へ移動する。

- ⑤ ネットから地盤間の距離(h1)を 1,250mm とするように設定する。
- ⑥ 約 200 kgの地盤材料を鋼製円筒殻容器内に全て撒き出す。
- ⑦ フォークリフトにて地盤材料投入装置を鋼製円筒殻容器の上側から取り外す。
- ⑧ 地盤材料投入装置の貯留部に再び約 200kg の地盤材料(珪砂 5 号)を投入する。
- ⑨ フォークリフトにて地盤材料投入装置を鋼製円筒殻容器の上側へ移動する。
- ⑩ ネットから地盤間の距離(h1)を 1,250mm とするように設定する。
- ⑪ 地盤材料を鋼製円筒殻容器内に撒き出す。
- ⑫ 所定の深度に達した時、土圧計を所定の位置に設置する。
- ⑬ ③～⑫の作業を 8 回繰り返して、鋼製円筒殻容器内に地盤材料を満たす。

#### 4.3.5 地盤材料投入装置の性能確認

模型地盤は 1 層の層厚は 150mm とし、8 層に分けて製作 (図 4-27 参照) し、各層厚毎にサンプラー ( $\phi 100 \times h 200 \text{mm}$ ) を 4 ヶ所、計 32 個のサンプラーを埋設設置 (図 4-28 参照) した。地盤材料が鋼製円筒殻容器を満たした後、各層毎に埋設したサンプラーを掘り出し、各層の乾燥密度を算出することによって本投入装置の性能を確認した。

性能確認試験から得られた各層の乾燥密度の測定結果を表 4-11 に示す。また、乾燥密度の平均値及び標準偏差の算出結果を表 4-12 に示す。乾燥密度は  $1.596 \sim 1.654 \text{g/cm}^3$  の範囲にあり、その平均値は  $1.625 \text{g/cm}^3$ 、標準偏差は  $0.015 \text{g/cm}^3$  であった。

乾燥密度の範囲が  $1.513 \text{g/cm}^3$  以上であることから、せん断抵抗角  $\Phi = 30^\circ$  以上となった。また、変動係数は 0.896% と 1% 以内の値であり、平均値に対して乾燥密度の変動が小さい均一な地盤を製作できていることが確認できた。

鋼製円筒殻容器内の地盤材料は 8 層に分割して撒きだしているが、それらは全て 4.3.4 に示した施工管理 (所定の仕様の地盤材料投入装置を用いて、地盤材料の投入量の管理、ネット - 地盤間の距離の管理) をしたうえで締め固められている。したがって、表 4-11 における地盤材料内の 8 層の密度の分布は、「偶発的なゆらぎ」により発生すると考えられることから、密度の測定結果は正規分布になると想定される。このため、表 4-11 のデータの正規性の確認を行った。その正規 Q-Q プロットを図 4-29 に示す。乾燥密度の測定値は直線性が認められることから、その正規性を確認できた。

#### 4.3.6 模型地盤の施工管理

本試験の地盤材料の施工管理は、土木工事の現場施工では土の密度の一般的な管理法として統計的な手法である 3 $\sigma$  法を採用<sup>14),15),16)</sup>した。3 $\sigma$  法は、正規分布する上方限界と下方限界の間の約 99.7% を定常値とし、定常的な状態に対して予期せぬ要因で生じる品質異常を検知する手法でもある。このため、鋼製円筒殻容器内の地盤材料の乾燥密度が 3 $\sigma$  以内であれば、適切な施工管理がされていると判断し、乾燥密度の目標管理値を  $1.625 \pm 0.043 \text{g/cm}^3$  と設定した。

適切な施工管理とは、相対密度で 90% 以上が達成されていること、せん断抵抗角  $\Phi$  が  $30^\circ$  以上であることとした。日光珪砂 5 号の土質試験の結果に基づく乾燥密度とせん断抵抗角の関係から、乾燥密度が  $1.513 \text{g/cm}^3$  以上であれば、そのせん断抵抗角  $\Phi$  は  $35^\circ$  以上となる。また、乾燥密度の平均値 - 3 $\sigma$  ( $1.625 - 0.043 \text{g/cm}^3 = 1.582 \text{g/cm}^3$ ) であれば、相対密度で概ね 90% 以上となる。

#### 4.4 試験結果

200 リットルドラム缶 H 級(2 体)、200 リットルドラム缶 M 級(2 体)、試験体 30 及び試験体 40(それぞれ 1 体)について、全て 200kN 載荷しても破壊せず強度は保持された。

試験体毎の鋼製円筒殻容器内の地盤材料の施工結果、測定した変位量、ひずみ量及び土圧について以下に示す。

##### 4.4.1 鋼製円筒殻容器内の地盤材料の施工結果

各試験体において、鋼製円筒殻容器内に施工した地盤材料の乾燥密度の測定結果を表 4-13 に示す。地盤材料はいずれの試験体においても目標管理値 ( $\rho_d=1.625\pm 0.043\text{g/cm}^3$ ) を満足しおり、均一で空げきがなく、適切に締め固められた地盤条件で載荷試験を実施した。

##### 4.4.2 試験体【200 リットルドラム缶 H 級】

###### (1) 【200 リットルドラム缶 H 級】の変形

###### ① 【200 リットルドラム缶 H 級】の地盤材料全体及び蓋部の変形

載荷した荷重と地盤材料全体の変位量 (d14~d17) の関係を図 4-30 に、載荷した荷重と試験体蓋部の鉛直方向の変位量 (d1~d5) との関係を図 4-31 に示す。

地盤材料全体 (d14~d17) は、地盤材料の表面に 210kN を載荷した時点で、鉛直方向に最大 9mm 程度の縮みが、蓋部 (d1~d5) では、鉛直方向に最大 9mm 程度の縮みが生じた。

###### ② 【200 リットルドラム缶 H 級】の輪帯部の変形

載荷した荷重と輪帯部の水平方向の変位量 (d6~d13) との関係を図 4-32 に示す。第一輪帯(ドラム缶の 2 つの輪帯のうち上部の輪帯)部 (d10~d13) では、地盤材料の表面に 210kN を載荷した時点で水平方向の変位量は 0.2mm 程度であった。第二輪帯(ドラム缶の 2 つの輪帯のうち下部の輪帯)部 (d6~d9) では、水平方向の変位量は 0.3mm 程度であった。

第一輪帯部及び第二輪帯部では、水平方向の変位量に大きな差は見られなかった。

【200 リットルドラム缶 H 級】2 体の載荷試験終了後の状態を写真 28 及び写真 29 に示す。内部・外部を目視にて観察した結果、へこみ等の明確な変形は 2 体とも認められなかった。

###### (2) 【200 リットルドラム缶 H 級】のひずみ

###### ① 【200 リットルドラム缶 H 級】の蓋部及びチャイム (底板) のひずみ

蓋部及びチャイムのひずみ量の測定結果 (s1-X~s5-X, s1-Y~s5-Y, s22~s25) を図 4-33 に示す。蓋部では、地盤材料の表面に 210kN を載荷した時点で蓋部中央に 80 $\mu$  程度の引張ひずみが、チャイム (s22~s25) では、600 $\mu$  程度の鉛直方向の圧縮ひずみが生じた。チャイムのひずみ量は蓋部に比べて大きい。

###### ② 【200 リットルドラム缶 H 級】の輪帯部のひずみ

輪帯部の軸方向のひずみ量の測定結果 (s6~s21) を図 4-34 に示す。第一輪帯部 (s14~s21) では、地盤材料の表面に 210kN を載荷した時点で 820 $\mu$  程度 (s14) の鉛直方向の引張ひずみが、第二輪帯部 (s6~s13) では 700 $\mu$  程度 (s9) の引張ひずみが生じた。

③ 【200 リットルドラム缶 H 級】の輪帯上部のひずみ

輪帯上部の鉛直ひずみ量の測定結果 (s26~s33,s34~s41) を図 4-35 に、輪帯上部の水平ひずみ量の測定結果 (s27,s29,s31,s33,s35,s37,s39,s41) を図 4-36 に示す。

第一輪帯上部の鉛直方向 (s34~s41) では、地盤材料の表面に 210kN を載荷した時点で 200 $\mu$  (s34) 程度の圧縮ひずみが、第二輪帯上部の鉛直方向 (s26~s33) では、100 $\mu$  程度 (s29) の圧縮ひずみが生じた。

第一輪帯上部の水平方向 (s35,s37,s39,s41) では、地盤材料の表面に 210kN を載荷した時点で、70 $\mu$  (s41) 程度の引張ひずみが、第二輪帯上部の水平方向 (s27,s29,s31,s33) では、100 $\mu$  程度 (s27) の圧縮ひずみが生じた。

第一輪帯上部及び第二輪帯上部の円周方向・軸方向ともに大きなひずみは発生していない。

(3) 【200 リットルドラム缶 H 級】に係る地盤材料内の土圧

地盤材料へ載荷した荷重と土圧との関係 (C1~C24) を図 4-37 及び図 4-38 に示す。

試験体の蓋部高さ (C9~C12) では、地盤材料の表面に 210kN を載荷した時点で最大 305kPa (C9) の鉛直土圧が、固型化部頂面高さ (C5~C8) では、最大 244kPa (C5) の鉛直土圧が、固定アーム部高さ (C1~C4) では、最大 91kPa (C3) の鉛直土圧が生じた。

試験体の蓋部高さ (C21~C24)、固型化部頂面高さ (C17~C20)、固定アーム部高さ (C13~C16) の水平方向の土圧は、鉛直土圧より小さい。

4.4.3 試験体 【200 リットルドラム缶 M 級】

(1) 【200 リットルドラム缶 M 級】の変形

① 【200 リットルドラム缶 M 級】に係る地盤材料全体及び蓋部の変形

載荷した荷重と地盤材料全体の変位量 (d14~d17) の関係を図 4-39 に、載荷した荷重と蓋部の鉛直方向の変位量 (d1~d5) との関係を図 4-40 に示す。

地盤材料全体 (d14~d17) では、地盤材料の表面に 209kN を載荷した時点で鉛直方向に最大 9mm 程度の縮みが、蓋部 (d1~d5) では、鉛直方向に最大 9mm 程度の縮みが生じた。

② 【200 リットルドラム缶 M 級】の輪帯部の変形

載荷した荷重と輪帯部の水平方向の変位量 (d6~d13) との関係を図 4-41 に示す。第一輪帯部 (d10~d13) では、地盤材料の表面に 209kN を載荷した時点で水平方向の変位量は 0.3mm 程度、第二輪帯部 (d6~d9) では、水平方向の変位量は 0.4mm 程度であった。

【200 リットルドラム缶 M 級】2 体の載荷終了後の状態を写真 30 及び写真 31 に示す。内部・外部を目視にて観察した結果、へこみ等の明確な変形は 2 体とも認められなかった。

(2) 【200 リットルドラム缶 M 級】のひずみ

① 【200 リットルドラム缶 M 級】の蓋部及びチャイム (底板) のひずみ

蓋部及びチャイム部のひずみ量の測定結果 (s1~s5,s22~s25) を図 4-42 に示す。

蓋部では、地盤材料の表面に 210kN を載荷した時点で蓋部中央に 80 $\mu$  程度の引張ひずみが、チャイム (s22~s25) では、800 $\mu$  程度 (s23) の圧縮ひずみが生じた。チャイムのひずみ量は蓋

部より大きい。

② 【200 リットルドラム缶 M 級】 の輪帯部のひずみ

輪帯部の軸方向のひずみ量の測定結果 (s6~s21) を図 4-43 に示す。第一輪帯部 (s14~s21) では、地盤材料の表面に 210kN を載荷した時点で最大 1,800 $\mu$  程度 (s18) の引張ひずみが、第二輪帯部 (s6~s13) では、最大 1,400 $\mu$  程度 (s10) の引張ひずみが生じた。

③ 【200 リットルドラム缶 M 級】 の輪帯上部のひずみ

輪帯上部の鉛直ひずみ量の測定結果 (s26~s33,s34~s41) を図 4-44 に、輪帯上部の水平方向のひずみ量の測定結果 (s27,s29,s31,s33,s35,s37,s39,s41) を図 4-45 に示す。

第一輪帯上部の鉛直方向 (s34~s41) では、地盤材料の表面に 209kN を載荷した時点で最大 150 $\mu$  (s34) 程度の圧縮ひずみが、第二輪帯上部の鉛直方向 (s26~s33) では、最大 360 $\mu$  程度 (s27-V) の圧縮ひずみが生じた。

第一輪帯上部の水平方向 (s35,s37,s39,s41) では、最大 50 $\mu$  程度 (s39-H) の引張ひずみが、第二輪帯上部の水平方向 (s27,s29,s31,s33) では、計測位置 s33-H を除くと最大 70 $\mu$  程度 (s27-H) の圧縮ひずみが生じた。

【200 リットルドラム缶 M 級-3】 の計測位置 s33-H では地盤材料の表面に 209kN を載荷する前にひずみ量が 9,000 $\mu$  を超え、その後計測不能となった。

(3) 【200 リットルドラム缶 M 級】 に係る地盤材料内の土圧

地盤材料へ載荷した荷重と土圧との関係を図 4-46 及び図 4-47 に示す。

試験体の蓋部高さ (C9~C12) では、地盤材料の表面に 209kN を載荷した時点で最大 283kPa (C12) の鉛直土圧が、固型化部頂面高さ (C5~C8) では、最大 314kPa (C7) の鉛直土圧が、固定アーム (底板) 部高さ (C1~C4) では、最大 113kPa (C3) の鉛直土圧が生じた。

試験体の蓋部高さ (C21~C24)、固型化部頂面高さ (C17~C20)、固定アーム (底板) 部高さ (C13~C16) の水平方向の土圧は、鉛直土圧より小さい。

4.4.4 試験体 30 【P ロート流下時間 30 秒のモルタルを充填した模擬廃棄体】

(1) 【試験体 30】 の変形

① 【試験体 30】 の地盤材料全体及び蓋部の変形

載荷した荷重と地盤材料全体の鉛直方向の変位量 (d14~d17) の関係を図 4-48 に、載荷した荷重と蓋部の鉛直方向の変位量 (d1~d5) との関係を図 4-49 に示す。

地盤材料全体 (d14~d17) では、地盤材料の表面に 210kN を載荷した時点で、11mm 程度の鉛直方向の縮みが、蓋部 (d1~d5) では、鉛直方向に最大 9mm 程度の縮みが生じた。

② 【試験体 30】 のドラム缶内の固型化部上部空げき部の変形

載荷した荷重とドラム缶内における固型化部上部の空げき部の水平方向の変位量 (d6~d13) との関係を図 4-50 に示す。

固型化部頂面付近のドラム缶胴体部 (d6~d9) では、地盤材料の表面に 210kN を載荷した時

点での水平方向の変位量は 0.1mm 程度、固型化部頂面と蓋部間の上部空げき部におけるドラム缶胴体部分 (d10~d13) では、水平方向の変位量は 0.1mm 程度であった。

【試験体 30】の载荷終了後の状態を写真 32 に示す。内部・外部を目視にて観察した結果、へこみ等の明確な変形は認められなかった。

## (2) 【試験体 30】のひずみ

### ① 【試験体 30】の蓋部及びチャイム (底板) のひずみ

蓋部のひずみ量の測定結果 (s1~s5) 及びチャイムのひずみ量の測定結果 (s14~s17) を図 4-51 に示す。蓋部では、地盤材料の表面に 210kN を载荷した時点で、最大 180 $\mu$  程度 (s4-Y) の引張ひずみが、チャイム (s14~s17) では、最大 231 $\mu$  (s14) の鉛直方向の圧縮ひずみが生じた。

### ② 【試験体 30】の輪帯部のひずみ

輪帯部の軸方向のひずみ量 (s6~s13) を図 4-52 に示す。第一輪帯部 (s10~s13) では、地盤材料の表面に 210kN を载荷した時点で、最大 1134 $\mu$  (s13) の引張ひずみが、第二輪帯部 (s6~s9) では、最大 950 $\mu$  (s6) の引張ひずみが生じた。

### ③ 【試験体 30】のドラム缶内の固型化部上部空げき部及び固型化部頂面のひずみ

ドラム缶内の固型化部の上部空げき部及び固型化部頂面のひずみ量の測定結果 (s18~s37) を図 4-53 及び図 4-54 に示す。

固型化部の上部-蓋部間のドラム缶胴部(外側)では、地盤材料の表面に 210kN を载荷した時点で、最大 170 $\mu$  の鉛直方向の圧縮ひずみが発生した。なお、計測位置 s19-V では、地盤材料の表面に 210kN を载荷する前にひずみ量が 1,000 $\mu$  を超え、その後計測不能となった。

固型化部の上部-蓋部間のドラム缶胴部 (外側) の水平方向 (s19,s21,s23,s25) では、s25-H を除くと最大 19 $\mu$  (s39-H) の圧縮ひずみが、固型化部頂面高さにおけるドラム缶胴部の鉛直方向 (s26~s33-V) では、最大 162 $\mu$  (s26) の圧縮ひずみが、水平方向 (s27,s29,s31,s33) では、最大 24 $\mu$  (s31-H) の引張ひずみが、固型化部頂面 (s34~s37) では、地盤材料の表面に 210kN を载荷した時点で最大 1 $\mu$  (s37) の引張ひずみが生じた。

## (3) 【試験体 30】に係る地盤材料内の土圧

【試験体 30】に係る地盤材料へ载荷した荷重と土圧 (C1~C24) との関係を図 4-55 及び図 4-56 に示す。試験体の蓋部高さ (C9~C12) では、地盤材料の表面に 210kN を载荷した時点で、最大 304kPa (C9) の鉛直土圧が、試験体の固型化部高さ (C5~C8) では、最大 235kPa (C7) の鉛直土圧が、固定アーム (底板) 部高さ (C1~C4) では、最大 81kPa (C3) の鉛直土圧が生じた。

試験体の蓋部高さ (C21~C24)、固型化部高さ (C17~C20)、固定アーム (底板) 部高さ (C13~C16) の水平方向の土圧は、鉛直土圧より小さい。



#### 4.4.5 試験体 40【P ロート流下時間 40 秒のモルタルを充填した模擬廃棄体】

##### (1) 【試験体 40】の変形

###### ① 【試験体 40】の地盤材料全体及び蓋部の変形

載荷した荷重と模型地盤全体の鉛直方向の変位量（d14～d17）との関係を図 4-57 に、載荷した荷重と蓋部の鉛直方向の変位量（d1～d5）との関係を図 4-58 示す。

地盤材料全体(d14～d17)では、地盤材料の表面に 210kN を載荷した時点で 8mm 程度の縮みが、蓋部では、鉛直方向に最大 8mm 程度の縮みが生じた。

###### ② 【試験体 40】のドラム缶内の固型化部上部空げき部の変形

載荷した荷重と、ドラム缶内における固型化部上部の空げき部の水平方向の変位量（d6～d13）を図 4-59 に示す。

固型化部頂面付近のドラム缶胴部（d6～d9）では、地盤材料の表面に 210kN を載荷した時点での水平方向の変位量は 0.1mm 程度、固型化部頂面と蓋部間の上部空げき部におけるドラム缶胴体部分（d10～d13）では、水平方向の変位量は 0.2mm 程度であった。

【試験体 40】の載荷終了後の状態を写真 33 に示す。内部・外部を目視にて観察した結果、へこみ等の明確な変形は認められなかった。

##### (2) 【試験体 40】のひずみ

###### ① 【試験体 40】の蓋部及びチャイム（底板）のひずみ

蓋部のひずみ量の測定結果（s1～s5）及びチャイムのひずみ量の測定結果（s14～s17）を図 4-60 に示す。

蓋部では、地盤材料の表面に 210kN を載荷した時点で最大 145 $\mu$  程度（s1-X）の引張ひずみが、チャイム（s14～s17）では、最大 273 $\mu$ （s14）の圧縮ひずみが生じた。

###### ② 【試験体 40】のひずみ（輪帯部）

輪帯部の鉛直方向のひずみ量（s6～s13）を図 4-61 に示す。

第一輪帯部（s10～s13）では、地盤材料の表面に 210kN を載荷した時点で最大 1831 $\mu$ （s13）の引張ひずみが、第二輪帯部（s6～s9）では、最大 1613 $\mu$ （s8）の引張ひずみが生じた。

###### ③ 【試験体 40】のドラム缶内の固型化部上部空げき部及び固型化部頂面のひずみ

ドラム缶内の固型化部の上部空げき部及び固型化部頂面のひずみ量の測定結果を図 4-62 及び図 4-63 に示す。

固型化部の上部-蓋部間のドラム缶胴部(外側)では、地盤材料の表面に 210kN を載荷した時点で、最大 147 $\mu$ （s23-V）の圧縮ひずみが、固型化部の上部-蓋部間のドラム缶胴部(外側)の水平方向（s19,s21,s23,s25）では、最大 25 $\mu$ （s21-H）の圧縮ひずみが、固型化部頂面高さにおけるドラム缶胴部の鉛直方向（s26～s33）では、最大 164 $\mu$ （s26）の圧縮ひずみが、水平方向（s27,s29,s31,s33）では、最大 49 $\mu$ （s33-H）の引張ひずみが生じた。

固型化部頂面（s34～s37）では、地盤材料の表面に 210kN を載荷した時点で最大 14 $\mu$ （s37）の圧縮ひずみが生じた。

### (3) 【試験体 40】に係る地盤材料内の土圧

【試験体 40】に係る地盤材料へ載荷した荷重と土圧 (C1～C24) との関係を図 4-64 及び図 4-65 図に示す。試験体の蓋部高さ (C9～C12) では、地盤材料の表面に 210kN を載荷した時点で最大 354kPa (C9) の鉛直土圧が、試験体の固型化部高さ (C5～C8) では、最大 261kPa (C8) の鉛直土圧が、固定アーム (底板) 部高さ (C1～C4) では、最大 97kPa (C1) の鉛直土圧が生じた。

試験体の蓋部高さ (C21～C24)、固型化部高さ (C17～C20)、固定アーム (底板) 部高さ (C13～C16) の水平方向の土圧は、鉛直土圧より小さい。

## 4.5 トレンチ処分に係る耐埋設荷重の設定

本節では、4.3 の試験結果を実測したデータに基づき、試験体の耐埋設荷重の設定を行う。

### 4.5.1 トレンチ処分に係る耐埋設荷重設定の考え方

廃棄体の耐埋設荷重については、埋設された場合において受けるおそれのある荷重に耐える強度を有していることが求められている。200 リットルドラム缶で製作した廃棄体をトレンチ埋設設備に縦置きとし、中間覆土の施工、さらにその上に廃棄体の定置、最終覆土の施工をする場合、土圧によりドラム缶が変形し、廃棄物埋設地表面が沈下する。また、変形に伴って生じた部材の伸びについては、降伏点に達している場合、延性破壊により、ドラム缶の変形が進展するおそれがある。

このため、想定する廃棄体の定置条件における、埋設される廃棄体の鉛直方向の変形量に係る耐荷重と、廃棄体の耐力に係る耐荷重をそれぞれ考慮し、それらの保守性を考慮して、試験体の耐埋設荷重とすることが考えられる。しかし、廃棄体の変形量については、以下の理由から考慮しないこととした。

- ① 本試験では、試験体に大きなひずみ(0.2%ひずみ)は生じなかったことから、ドラム缶は降伏していないと考えられ、鉛直方向の変形も 1cm 以下であり大きな変形は生じていない。
- ② 本試験では、廃棄体の耐埋設荷重を過小評価するため、ドラム缶内に、保守的に固型化部と蓋部間の上部空げき部を容器内の体積割合で 20 パーセントとした。実際の廃棄体の製作時には、上部空げき部を土砂等で充填することにより低減することとする。このことから、実際の廃棄体は本試験における試験体よりも大きく変形することはない。

以上より、本報告では廃棄体の耐力に係る耐荷重を考慮して、試験体の耐埋設荷重を評価することとした。

なお、廃棄体の鉛直方向の変形及び廃棄物埋設地表面の沈下を抑制するために、廃棄体の上部空げきを充填することは、第二種廃棄物埋設規則第 6 条第 1 項第 4 号「廃棄物埋設地は、土砂等を充てんすることにより、当該廃棄物埋設地の埋設が終了した場合において空げきが残らないように措置すること」によって確認される。本稿は、第二種廃棄物埋設規則第 8 条第 2 項第 5 号の「埋設された場合において受けるおそれのある荷重に耐える強度を有すること。」を確認することが主旨であることから、第二種廃棄物埋設規則第 6 条第 1 項第 4 号については別途検討とした。

#### 4.5.2 廃棄体の定置条件の設定

廃棄体を縦置きにして土中に埋没させた場合の寸法は、概念設計の結果（3 段縦置き）より保守的に 4 段積みとして、図 4-66 に示す寸法とした。

#### 4.5.3 埋設が終了した場合における最下段の廃棄体が受ける土圧の評価

施設の断面寸法に基づき、試験体が土中で受ける垂直応力を次式により推定した。

$$P = \gamma_1 \times H_1 + \gamma_2 \times H_2 = 2 \text{t/m}^3 \times 6 \text{m} + 1.9 \times 2.5 \text{m} = 17 \text{t/m}^2 \sim 170 \text{kPa}$$

ここで、

P：試験体（ドラム缶）に作用する概算の垂直応力：kPa

$\gamma_1$ ：金属等を含む廃棄物+鋼製容器+中間覆土により想定される荷重の平均的な単位体積重量<sup>10)</sup>：t/m<sup>3</sup>

H<sub>1</sub>：廃棄物を定置する厚さ：6m

$\gamma_2$ ：上部覆土の単位体積重量<sup>16)</sup>：t/m<sup>3</sup>

H<sub>2</sub>：上部覆土の厚さ：2.5m

試験体を 4 段にして埋設する場合、その最下段の受ける垂直応力は約 170kPa である。一方、本試験の結果から、試験体は、300kPa を空のドラム缶に作用させた場合であっても容器に 0.2% ひずみを超えるひずみは発生しないことから、試験体の耐埋設荷重は 300kPa と設定した。

#### 4.5.4 トレンチ処分に係る廃棄体の耐埋設荷重の設定

以上より、不燃性（金属類）の固体状の放射性廃棄物について、基本手順にしたがって分別し、直接 200 リットルドラム缶に収納して製作した充填固化体については、耐埋設荷重を 300 kPa と設定した。これは、概念設計におけるトレンチ埋設設備において、受けるおそれのある最大荷重となる、縦置きで土中で 4 段積みをした場合に最下段の廃棄体が受ける土圧に対して十分な耐埋設荷重を有する。

## 5. まとめ

研究施設等廃棄物の模擬廃棄物を、所定の基本手順にしたがい容器へ収納し、セメント系充填材の充填、固型化、養生を行って製作した模擬廃棄体の耐埋設荷重試験を行った。

コンクリートピット埋設設備に、9段で俵積み方式で処分した場合を想定した実載荷試験では、試験体に 300kN の載荷した場合でも潰れないことを確認できた。

トレンチ埋設設備に、縦置きで 4 段で埋設処分した場合を想定した実載荷試験では、試験体に 300kPa の土圧を作用させた場合でも潰れないことを確認できた。

これらの試験体の耐埋設荷重は、原子力機構が計画している研究施設等廃棄物の浅地中処分施設の概念設計において想定した条件において、受けるおそれのある最大荷重より大きく、耐埋設荷重に係る技術基準に適合すると判断できるものであった。このことから、基本手順は、耐埋設荷重の観点からも妥当なものである見通しが得られた。

## 謝辞

本試験を行うに際して、浅地中処分に係る耐埋設荷重確認試験に幅広くご協力頂いた三菱マテリアル株式会社の中村憲司氏、山本正幸氏に深く感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 仲田久和 他：“研究施設等廃棄物浅池中処分施設における廃棄体の受入基準の設定—有害な空げきが残らないこと及び一体となるような充填—”，JAEA-Technology 2016-001(2016),112p.
- 2) 北海道電力株式会社，東北電力株式会社，東京電力株式会社，中部電力株式会社，北陸電力株式会社，関西電力株式会社，中国電力株式会社，四国電力株式会社，九州電力株式会社，日本原子力発電株式会社：“充填固化体の標準的な製作方法 改訂4版”，平成18年2月.
- 3) 天澤弘也 他：“研究施設等廃棄物浅池中処分施設の概念設計”，JAEA-Technology 2012-031(2012),338p.
- 4) 原子力規制庁：“廃棄物確認に関する運用要領の制定について”，平成26年2月.
- 5) 北海道電力株式会社 他：“模擬充填固化体による載荷試験結果について”，平成11年5月.
- 6) 日本機械学会：“機械実用便覧 改訂第7版”，(2011).
- 7) 仲田久和 他：“研究施設等廃棄物浅池中処分対象廃棄体等に係る荷重変形特性の検討”，JAEA-Technology 2011-036(2012), 195p.
- 8) 独立行政法人原子力安全基盤機構：“トレンチ処分施設及びピット処分施設の覆土の施設確認に関する考慮事項”，JNES-RE-2013-2026(2014).
- 9) 河合正 他：“原子力発電所建屋近傍埋戻し地盤の沈下メカニズムの解明（その2）、電力中央研究所報告 N08029”，平成21年7月.
- 10) 中房悟：“極低レベル放射性廃棄物の盛土工式処分施設の構造安定性と底部排水層に関する研究”，早稲田大学博士論文，2014年2月.
- 11) 松井淳 他：“地盤—構造物連成系の大型振動実験の動的非線形有限要素解析、コンクリート工学年次論文集”，Vol. 22, No. 3, 2000年, pp.1339-1344.
- 12) 公益社団法人地盤工学会：“地盤調査の方法と解説—二冊分の2—”，(2004) 692p.
- 13) 足嶋田正夫 他：“ノズル・ネットを用いた模型砂地盤の作製方法”，第75回 日本建築学会北海道支部研究報告集, 2002年, pp.21-24.
- 14) 農林水産省農村振興局整備部設計課：“土木工事施工管理基準の手引き”，(online) available from <[http://www.maff.go.jp/j/nousin/seko/kyotu\\_siyosyo/k\\_tebiki/](http://www.maff.go.jp/j/nousin/seko/kyotu_siyosyo/k_tebiki/)>, (accessed on 2016-08-31).
- 15) 新井靖典 他：“管理型最終処分場におけるベントナイト混合土施工事例”，(online) available from <<http://library.jsce.or.jp/jsce/open/00984/2005/2005-0001.pdf>>, (accessed on 2016-08-31).
- 16) 社団法人日本道路協会：“道路橋示方書・同解説 I 共通編”，平成14年3月.
- 17) 原子力規制庁：“廃棄物確認に関する運用要領”，pp.145-146, (online) available from <<https://www.nsr.go.jp/data/000028128.pdf>>, (accessed on 2016-09-21).

表 2-1 先行施設における耐埋設荷重強度に係る参考解説<sup>17)</sup>

埋設施設において廃棄物が受けるおそれのある最大荷重は、廃棄体を俵積み方式により定置した場合に俵積み完了後に最下段の廃棄物が受ける荷重である。これに対する強度としては、標準製作法に基づいて充填固化体を製作したときの想定荷重として保守的に約10tを想定し、これに耐える強度（以下、「耐埋設荷重強度」という。）を考慮する必要がある。

この耐埋設荷重強度の確保方法は、標準製作法等によれば下記の2つの方法が考えられている。

(1) 強度が高い固体状廃棄物を固型化する場合（廃棄物強度で担保する場合）

金属類、コンクリート・ガラス類、圧縮体、高圧圧縮体、溶融体、塩ビ管、ケーブル・コード類、プラスチック片類等の強度が高い固体状廃棄物のみを固型化して充填固化体を製作する場合には、主に廃棄物自体の強度で耐埋設荷重強度を確保することが可能であり、充填固化体の強度は、廃棄物自体の強度、固型化材料等の強度、内部空げき量及び上部空げき量に依存すると考えられる。

(2) 強度が低い固体状廃棄物を固型化する場合（内張り層等で担保する場合）

ゴム片等の強度が低いものを含む固体状廃棄物を固型化して充填固化体を製作する場合には、内張り層等それ自体が相当の強度を有するものを設けて耐埋設荷重強度を担保する方法が考えられ、充填固化体の強度は、主に内張り層等の強度・厚みに依存する。

なお、内張り層等としては、

①内張りを施した容器を用いる方法

②内籠を容器にセットして廃棄物を収納する方法

の2とおりが考えられる。

以上の事項を踏まえ、財団法人原子力環境整備センターの技術レポート及び電力会社の試験報告で示されている結果から、耐埋設荷重強度の確保方策を保守的にまとめると下表のとおりになる。

	(1) 廃棄物強度で担保する場合	(2) 内張り層で担保する場合
容器	M級、H級	H級
廃棄物の強度	強度が高い固体状廃棄物であること	強度が低い固体状廃棄物を含むことが可能
固型化材料等の強度	硬化後強度が30MPa以上	同左（内籠の場合）
上部空隙量	有害な空隙がないこと	有害な空隙がないこと
内部空隙量	一体となるような充填により低減していること	—
内張り層の強度	—	硬化後強度が30MPa以上（内張容器の場合）
内張り層の厚み	—	30mm以上

(以下省略)

(原管廃発第 1402262 号より抜粋)

表 2-2 耐埋設荷重強度の確保の方法

項目	先行事例	本試験での対応
—	(1) 廃棄物強度で担保する場合	—
容器	M 級、H 級	JIS Z 1600(2006)のオープンヘッドドラム M 級
廃棄物の強度	強度が高い固体状廃棄物であること	不燃性固体廃棄物のなかから手分別により金属類を分別し、容器に収納(表 2-3 に組成を示す。)
固型化材料等の強度	硬化後強度が 30MPa 以上	基本手順に従って、一体となるような充填ができる配合のセメント系充填材(P ロート流下時間 30～50 秒)の硬化後の一軸圧縮強度は、70MPa 以上であった。
上部空げき量	有害な空げきがないこと(約 10%としている)	耐埋設荷重の観点からは、上部空げきが大きい方が保守的になるため、固型化材料を容器内に充填した後の、固型化部とドラム缶上蓋までの空間を約 20%とした。
内部空げき量	一体となるような充填により低減していること	基本手順に従って、一体となるような充填ができる配合のセメント系充填材(P ロート流下時間値 30～50 秒)の充填により固型下部の内部の空げき率は約 5%以下とした。

表 2-3 模擬廃棄物の組成

廃棄物種類	重量割合
金属板	20%
金属片	20%
ケーブル	4%
配管類	45%
弁類	10%
計器類	1%

表 2-4 モルタル充填材の配合条件

P ロート流下時間	セメント	水	細骨材	高性能 AE 減水剤
	C	W	S	A <sub>d</sub>
	(kg/m <sup>3</sup> )	(kg/m <sup>3</sup> )	(kg/m <sup>3</sup> )	(kg/m <sup>3</sup> )
30 秒	950	364	891	4.75
40 秒	950	356	912	4.75
50 秒	950	342	950	4.75



表 3-1 変位計の種類及び数量

変位計記号	計測対象	計測方向	変位計種類・数量
d1～d4	試験体全体	鉛 直	CDP-100 (4ヶ所)
d5～d10	チャイム・第一輪帯・第二輪帯	鉛 直	CDP-25 (6ヶ所)
d11～d16	チャイム・第一輪帯・第二輪帯	水 平	CDP-50 (6ヶ所)
d17～d19	チャイム	水 平(軸方向)	CDP-50 (3ヶ所)
d20～d22	蓋	水 平(軸方向)	CDP-50 (3ヶ所)
合計			22ヶ所

表 3-2 ひずみ計の種類及び数量

ひずみ計記号	計測対象	計測方向	ひずみ計種類・数量
s1～s8	第一・第二輪帯部の外部ひずみ量	1 軸(円周方向)	FLA-3-11 (8枚)
s9～s12	特殊治具接触点の外部ひずみ量 (第二輪帯部付近)	2 軸(円周、軸方向)	FCA-3-11 (4枚)
s13～s16	下部チャイム部の外部ひずみ量(胴縁部)	1 軸(円周方向)	FLA-3-11 (4枚)
s17～s19	下部チャイム部の外部ひずみ量(底面部)	2 軸(鉛直、水平方向)	FCA-3-11 (3枚)
s20～s22	固型化部頂面のひずみ量	1 軸(鉛直、水平方向)	PL-60-11 (6枚)
s23～s26	蓋付近(蓋と特殊治具接触点間)の外部ひずみ量	2 軸(円周、軸方向)	FCA-3-11 (4枚)
s27	上部蓋部の外部ひずみ量	2 軸(鉛直、水平方向)	FCA-3-11 (1枚)
合計			30枚

表 3-3 廃棄体のピット内に定置時の離隔距離

位置	廃棄体中心間の距離(mm)		廃棄体の長さ(mm)		離隔距離(mm)	
廃棄体の離隔距離	L1	1,025	L4	900	L7	125
壁と廃棄体	L2	580	L5	450	L8	130
注入管設置部	L3	1,170	L6	900+100	L9	170

\*) 上記寸法は、図 3-29 に示す。

表 3-4 積載段数による変位量差と傾斜量の関係

積載段数	変位差(mm)							
	1.0		5.0		10.0		15.0	
	傾斜量(mm)	隣接離れ(mm)	傾斜量(mm)	隣接離れ(mm)	傾斜量(mm)	隣接離れ(mm)	傾斜量(mm)	隣接離れ(mm)
2	1.2	123	6.2	113	12.4	100	18.6	88
3	1.8	121	9.0	107	17.9	89	26.9	71
4	2.3	120	11.7	102	23.4	78	35.1	55
5	2.9	119	14.5	96	28.9	67	43.4	38
6	3.4	118	17.2	91	34.4	56	51.7	22
7	4.0	117	20.0	85	40.0	45	59.9	5
8	4.5	116	22.7	80	45.5	34	68.2	-11
9	5.1	115	25.5	74	51.0	23	76.5	-28
10	5.6	114	28.2	69	56.5	12	84.7	-44
11	6.2	113	31.0	63	62.0	1	93.0	-61
12	6.8	111	33.8	57	67.5	-10	101.3	-78
13	7.3	110	36.5	52	73.0	-21	109.5	-94
14	7.9	109	39.3	46	78.5	-32	117.8	-111
15	8.4	108	42.0	41	84.0	-43	126.1	-127
16	9.0	107	44.8	35	89.6	-54	134.3	-144
17	9.5	106	47.5	30	95.1	-65	142.6	-160
18	10.1	105	50.3	24	100.6	-76	150.9	-177
19	10.6	104	53.0	19	106.1	-87	159.1	-193
20	11.2	103	55.8	13	111.6	-98	167.4	-210

※1 積載段数とはピット区画内においてドラム缶を積み上げる段数をいう。

※2 変位差とは、最下段のドラム缶の蓋とチャイム部の変位の差をいう。

※3 傾斜量( $\Delta$ )とは、最上段のドラム缶の水平方向の変位量をいう。

※4 隣接離れとは、隣接して定置される廃棄体との間隔であり、 $L7(125mm)-2 \times \Delta$  で求める。

※5 隣接離れが負の場合は、隣接する廃棄体列の最上段の廃棄体が接触することを示す。

表 4-1 変位計の設置位置、種類、数量 (試験体：空のドラム缶)

変位計記号	計測対象	計測方向	変位計種類・数量
d1	ドラム缶の蓋中央部	鉛直	CDP-100 (1 か所)
d2~d5	ドラム缶の蓋部	鉛直	CDP-100 (4 か所)
d6~d9	第二輪帯部	水平	CDP-50 (4 か所)
d10~d13	第一輪帯部	水平	CDP-50 (4 か所)
d14~d17	地盤材料施工部全体	鉛直	CDP-25 (4 か所)

表 4-2 変位計の設置位置、種類、数量(試験体 30 及び 40)

変位計記号	計測対象	計測方向	変位計種類・数量
d1	ドラム缶の蓋中央部	鉛直	CDP-25MT (1 か所)
d2~d5	ドラム缶の蓋部	鉛直	CDP-25MT (4 か所)
d6~d9	固型化部頂面付近	水平	CDP-25 (4 か所)
d10~d13	試験体内側の固型化部と蓋の空間部	水平	CDP-25 (4 か所)
d14~d17	地盤材料施工部全体	鉛直	CDP-100 (4 か所)

表 4-3 ひずみ計の設置位置、種類、数量(試験体:空のドラム缶)

ひずみ計記号	計測対象	計測方向	ひずみ計種類・数量
s1	ドラム缶の蓋中央部	2 軸(X 方向、Y 方向)	FCA-3-11(1 枚)
s2~s5	ドラム缶の蓋部	2 軸(X 方向、Y 方向)	FCA-3-11(4 枚)
s6~s13	第二輪帯部	1 軸(鉛直方向)	FLA-3-11(8 枚)
s14~s21	第一輪帯部	1 軸(鉛直方向)	FLA-3-11(8 枚)
s22~s25	チャイム部	1 軸(鉛直方向)	FLA-3-11(4 枚)
s26,s28 s30,s32	第二輪帯上	1 軸(鉛直方向)	FLA-3-11(4 枚)
s27,s29 s31,s33	第二輪帯上	2 軸(鉛直、水平方向)	FCA-3-11(4 枚)
s34,s36 s38,s40	第一輪帯上	1 軸(鉛直方向)	FLA-3-11(4 枚)
s35,s37 s39,s41	第一輪帯上	2 軸(鉛直、水平方向)	FCA-3-11(4 枚)

表 4-4 ひずみ計の設置位置、種類、数量（試験体 30 及び 40）

ひずみ計記号	計測対象	計測方向	ひずみ計種類・数量
s1	試験体の蓋中央部	2 軸(水平 X,Y 方向)	FCA-3-11(1 枚)
s2~s5	試験体の蓋部	2 軸(水平 X,Y 方向)	FCA-3-11(4 枚)
s6~s9	第二輪帯部	1 軸(鉛直方向)	FLA-3-11(4 枚)
s10~s12	第一輪帯部	1 軸(鉛直方向)	FLA-3-11(4 枚)
s14~s17	チャイム部	1 軸(鉛直方向)	FLA-3-11(4 枚)
s18,s20 s22,s24	試験体上部空げき部	1 軸(鉛直方向)	FLA-3-11(4 枚)
s19,s21 s23,s25	試験体上部空げき部	2 軸(鉛直、水平方向)	FCA-3-11(4 枚)
s26,s28 s30,s32	固型化部	1 軸(鉛直方向)	FLA-3-11(4 枚)
s27,s29 s31,s33	固型化部	2 軸(鉛直、水平方向)	FCA-3-11(4 枚)
s34~s37	固型化部頂面	1 軸(水平方向)	PL-60-11(4 枚)

表 4-5 土圧計の設置位置、種類、数量（試験体 30 及び 40）

土圧計記号	計測対象	計測方向	土圧計種類・数量
C1~C4	固定アーム(底板)部高さ	鉛直	KDC-500KPA (4 か所)
C5~C8	地盤材料内の試験体の固型化部頂面高さ	鉛直	KDC-500KPA (4 か所)
C9,C10,C12	地盤材料内の試験の蓋部高さ	鉛直	KDC-500KPA (3 か所)
C11	試験体外側の蓋上面	鉛直	KDC-500KPA (1 か所)
C13~C16	鋼製円筒殻容器底面付近	水平	KDD-500KPA (4 か所)
C17~C20	鋼製円筒殻容器内壁付近における試験体の固型化部頂面高さ	水平	KDD-500KPA (4 か所)
C21~C24	鋼製円筒殻容器内壁付近における試験体の蓋部高さ	水平	KDD-500KPA (4 か所)

表 4-6 せん断抵抗角  $\Phi$  の一般的な評価値

砂の特徴	$\phi cv'$
粒度配合の良い砂礫	40
均一な粒度の粗砂	37
粒度配合の良い中砂	37
均一な粒度の中砂	34
粒度配合の良い細砂	34
均一な粒度の細砂	30

表 4-7 土質試験の試験項目と規格

	試験項目	試験規格
物理試験	土粒子の密度試験	JIS A 1202 : 2009 土粒子の密度試験方法
	含水比試験	JIS A 1203 : 2009 土の含水比試験方法
	粒度試験	JIS A 1204 : 2009 土の粒度試験方法
	砂の最小・最大乾燥密度試験	JIS A 1224 : 2009 砂の最小密度・最大密度試験方法
せん断試験	土の三軸圧縮試験	JGS 0524 : 2009 土の圧密排水(CD)三軸圧縮試験方法

表 4-8 土質試験の結果

地盤材料名称			珪砂 5 号
土粒子の密度	$\rho_s$	$g/cm^3$	2.660
自然含水比	$w_n$	%	0.1
粒 度	礫 分(2~75mm)	%	0.0
	砂 分(0.075~2mm)	%	99.9
	シルト分(0.005~0.075mm)	%	0.1
	粘土分(0.005mm 未満)	%	
最大粒径		mm	2
均等係数	$U_c$	—	1.50
最大乾燥密度	$\rho_{dmax}$	$g/cm^3$	1.620
最小乾燥密度	$\rho_{dmin}$	$g/cm^3$	1.332

表 4-9 三軸圧縮試験結果

相対密度 $D_r(\%)$			乾燥密度 $\rho_d(\text{g/cm}^3)$		せん断抵抗角 $\Phi(^{\circ})$
設定値	測定値	平均値	測定値	平均値	測定値
70	68.2	67.4	1.516	1.513	35.5
	67.3		1.513		
	66.8		1.511		
80	78.9	77.8	1.549	1.546	37.4
	77.7		1.546		
	76.9		1.543		
90	90.1	89.8	1.586	1.585	39.2
	89.3		1.583		
	89.9		1.585		
100	100	101.0	1.620	1.624	40.2
	102.3		1.628		
	100.8		1.623		

表 4-10 地盤投入装置の仕様

項 目		仕 様	
使用する地盤材料		—	珪砂 5 号
模型地盤の製作方法		—	空中落下法 (NN 法)
地盤材料 投入装置 の仕様	ノズル径	$\phi$ (mm)	12.07
	ネット寸法 (平織金網)	網目 (メッシュ)	8
		線径(mm)	0.70
	ネット-地盤間の落下高さ	$h1$ (mm)	1250
	ノズル-ネット間の落下高さ	$h2$ (mm)	150
ノズル配置	$d$ (mm)	170	

表 4-11 地盤材料投入装置の性能確認試験における乾燥密度の測定結果

位置	乾燥密度(g/cm <sup>3</sup> )			
1層目	1.625	1.640	1.622	1.625
2層目	1.602	1.610	1.617	1.628
3層目	1.619	1.623	1.625	1.613
4層目	1.647	1.639	1.654	1.620
5層目	1.636	1.621	1.641	1.596
6層目	1.639	1.633	1.643	1.634
7層目	1.632	1.633	1.608	1.608
8層目	1.596	1.614	1.636	1.636

表 4-12 乾燥密度の平均値及び標準偏差

平均値(g/cm <sup>3</sup> )	1.625
標準偏差 : $\sigma$ (g/cm <sup>3</sup> )	0.015
$3\sigma$ (g/cm <sup>3</sup> )※	0.043
最大値(g/cm <sup>3</sup> )	1.654
最小値(g/cm <sup>3</sup> )	1.596
変動係数(%)	0.896

※小数点以下第4桁で切り捨て

表 4-13 模型地盤の製作結果

試験体	乾燥密度 $\rho_d$ (g/cm <sup>3</sup> )	相対密度 (%)	せん断抵抗角 (°)
200 リットルドラム缶 H 級-1	1.613	98	40.0
200 リットルドラム缶 M 級-2	1.596	93	39.3
200 リットルドラム缶 H 級-1	1.623	101	40.5
200 リットルドラム缶 M 級-2	1.618	99	40.2
試験体 30	1.630	103	40.8
試験体 40	1.626	102	40.6
平均値	1.618	99	40.2

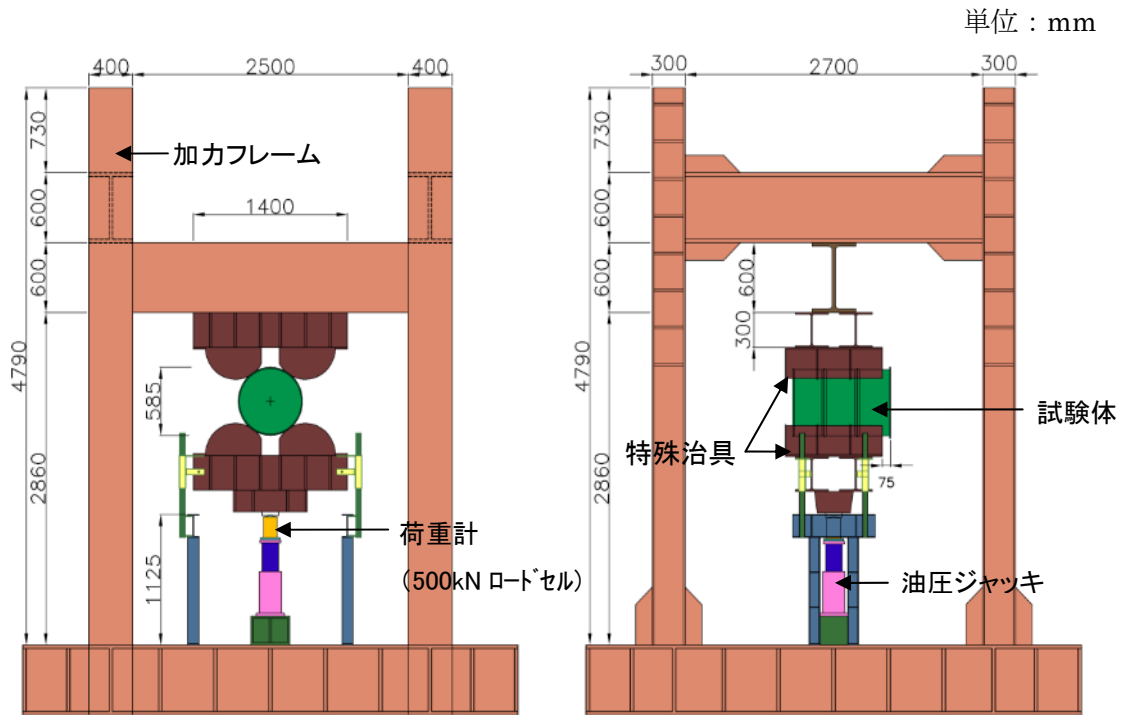


図 3-1 ピット処分に係る試験装置



図 3-2 ピットに係る計測システム



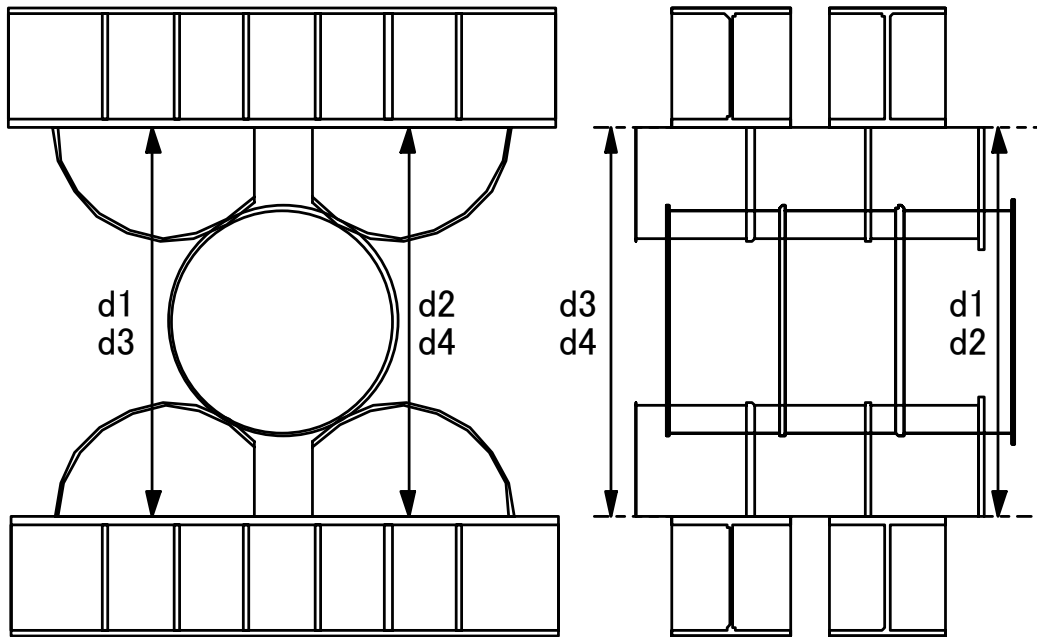


図 3-3 試験体全体の変位計の設置位置

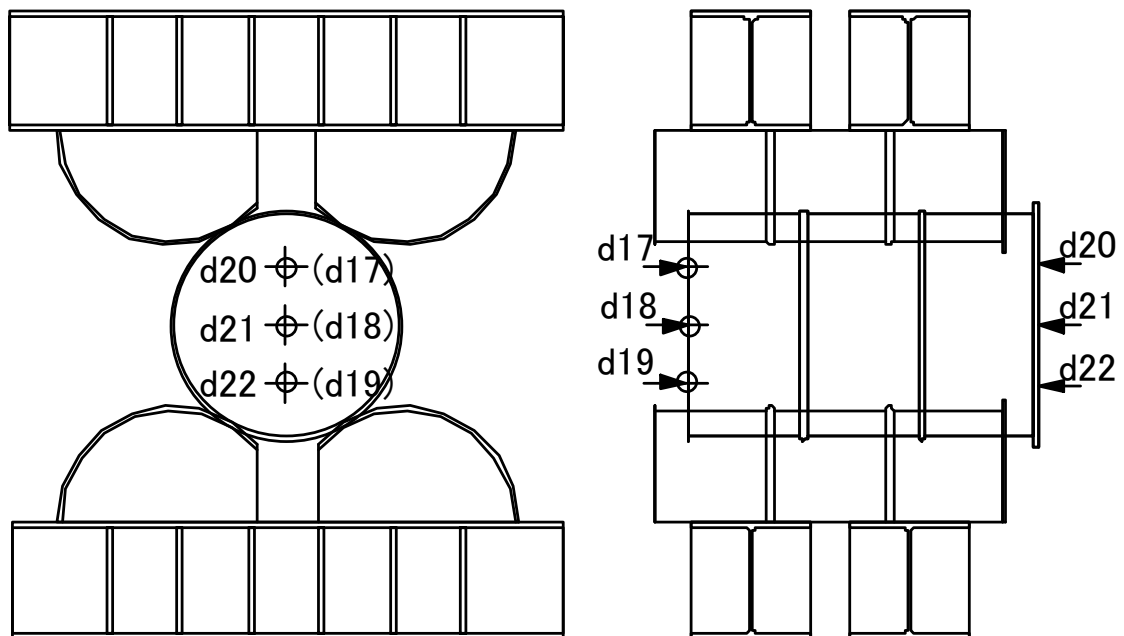


図 3-4 試験体蓋及びチャイム（底板）の変位計の設置位置

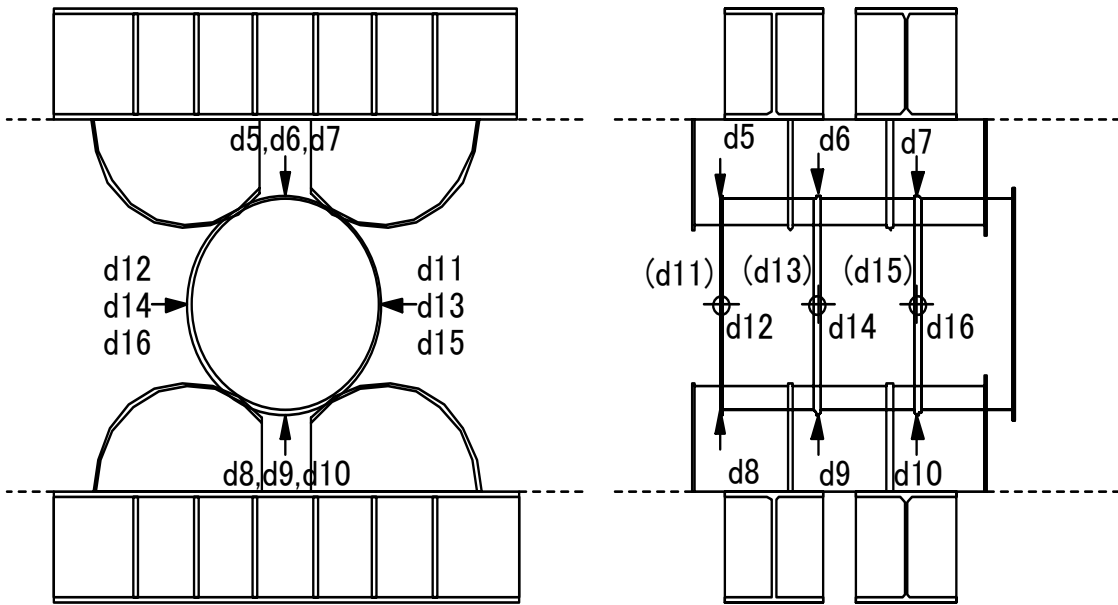


図 3-5 試験体輪帯部の変位計の設置位置

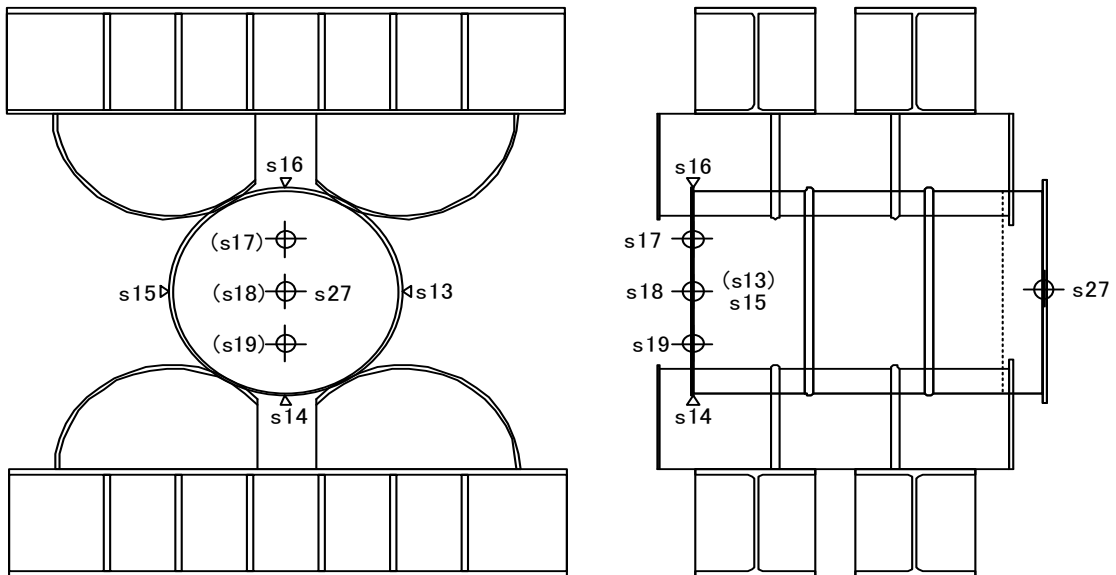


図 3-6 チャイム（底板）及び蓋のひずみ計の計測位置

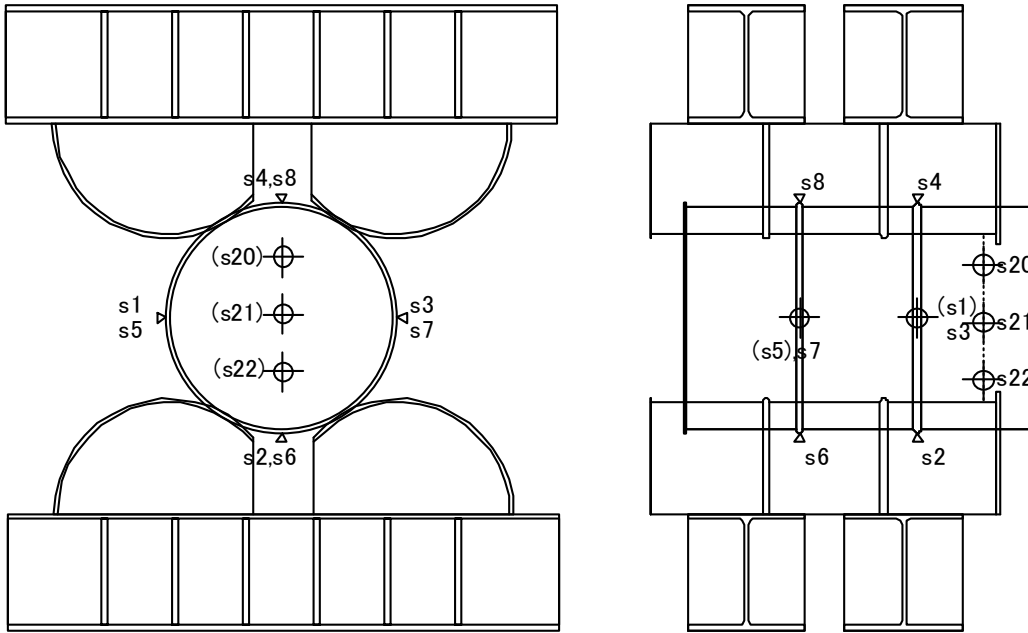


図 3-7 第一輪帯、第二輪帯及び固型化部頂面のひずみ計の計測位置

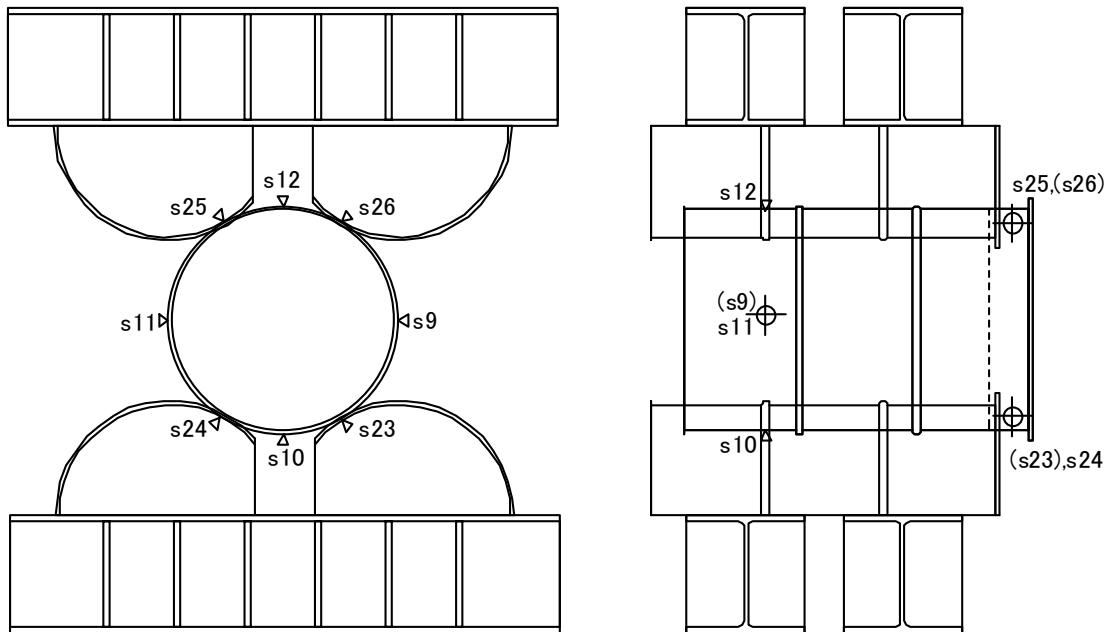


図 3-8 治具接触点及び蓋付近のひずみ計の計測位置

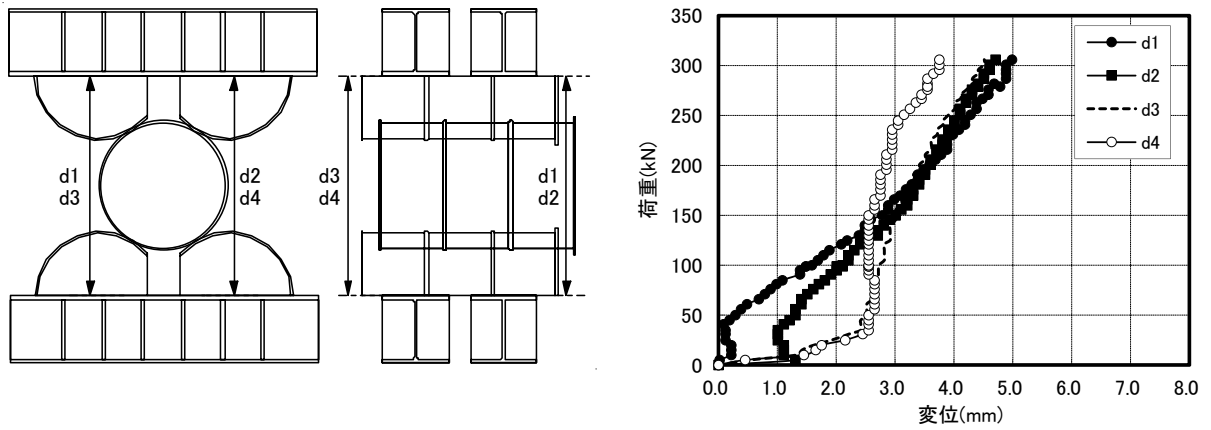


図 3-9 試験体 30 全体の鉛直変位量

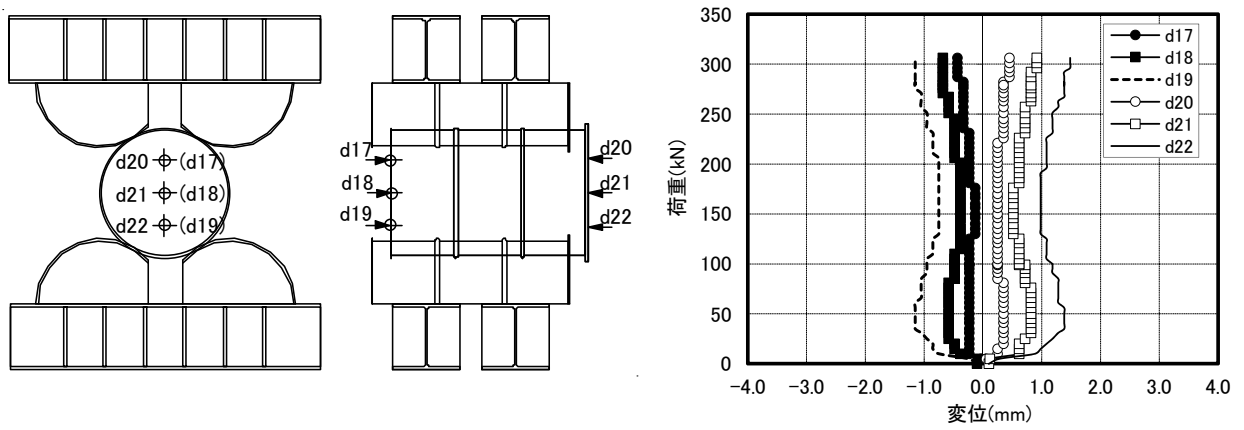
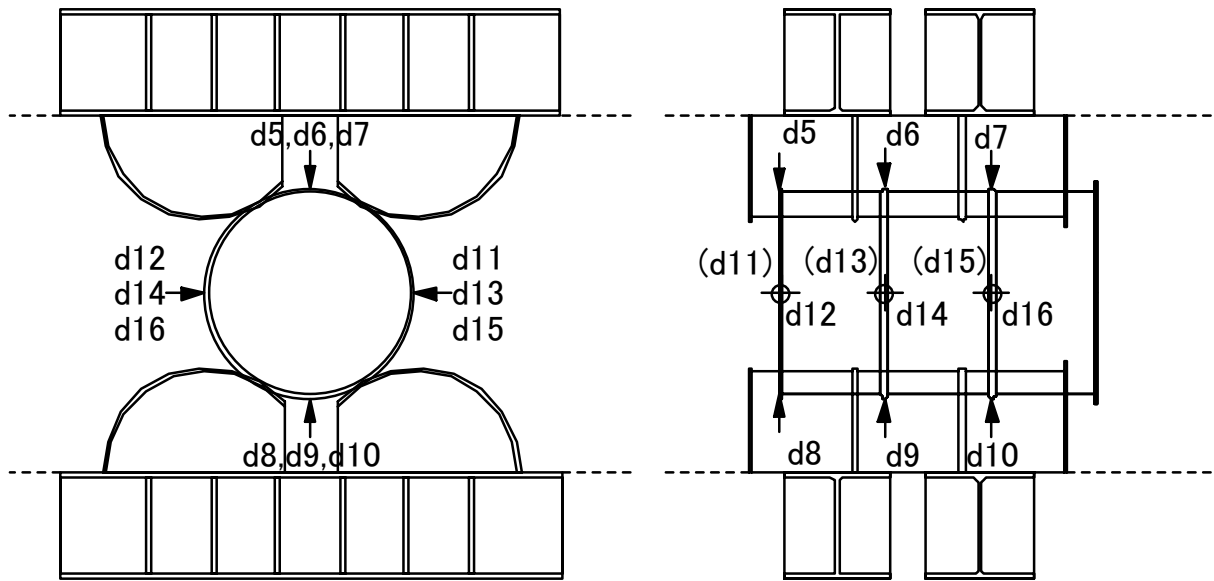


図 3-10 チャイム及び蓋の軸方向変位量 (試験体 30)



被試験体 名称	測定時 荷重 (kN)	計測位置	変位量(mm)		
			チャイム d5, d11, d8, d12	第一輪帯 d6, d13, d9, d14	第二輪帯 d7, d15, d10, d16
試験体 30	306	d5, d6, d7	-3.4	-2.7	-1.7
		d11, d13, d15	-3.6	-2.6	-1.4
		d8, d9, d10	-0.5	-1.1	-1.9
		d12, d14, d16	3.6	0.9	1.4

図 3-11 チャイム部及び輪帯部の変位量 (試験体 30)

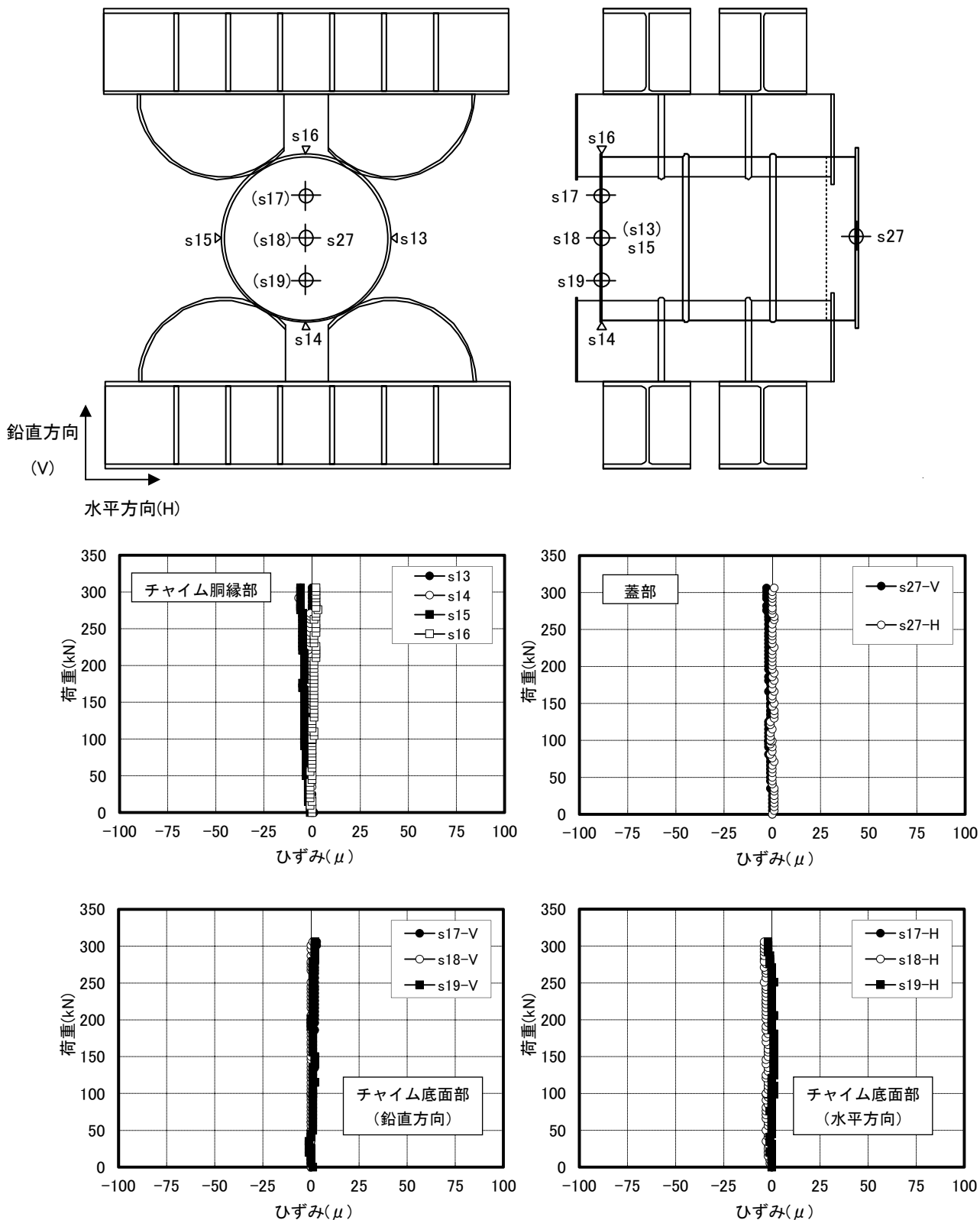


図 3-12 チャイム及び蓋のひずみ量 (試験体 30)

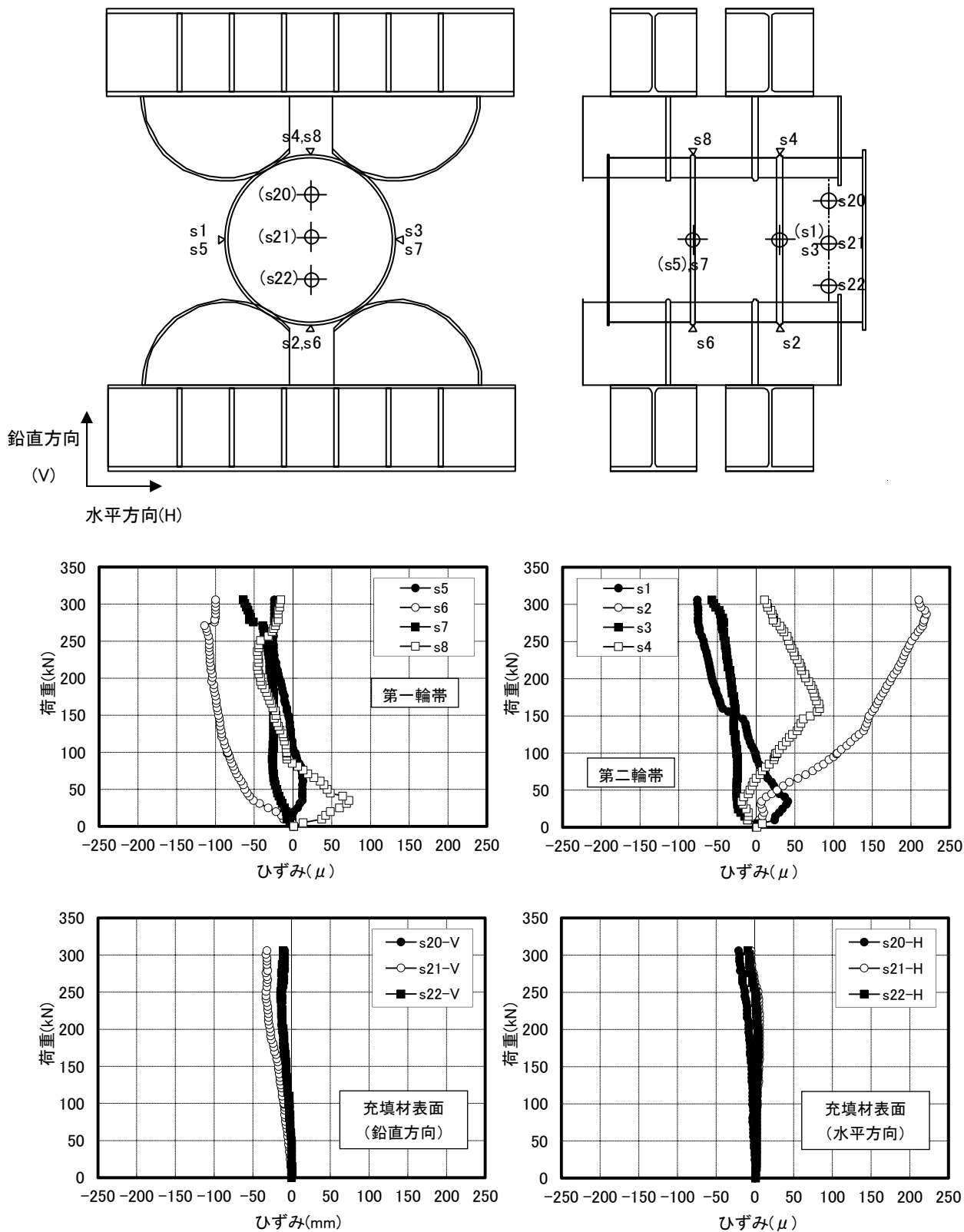


図 3-13 第一輪帯、第二輪帯及び固型化部頂面のひずみ量 (試験体 30)

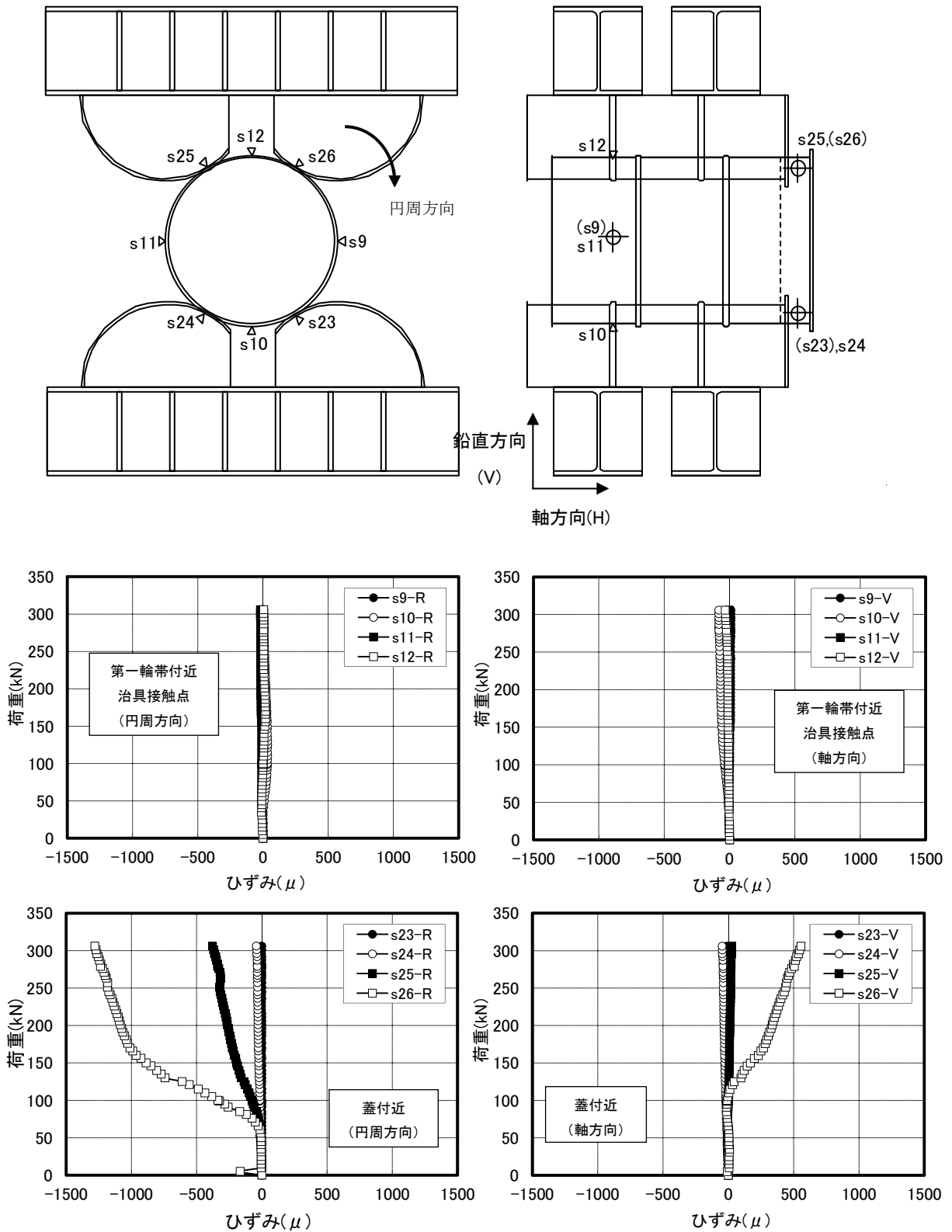


図 3-14 治具接触点及び蓋付近のひずみ量 (試験体 30)



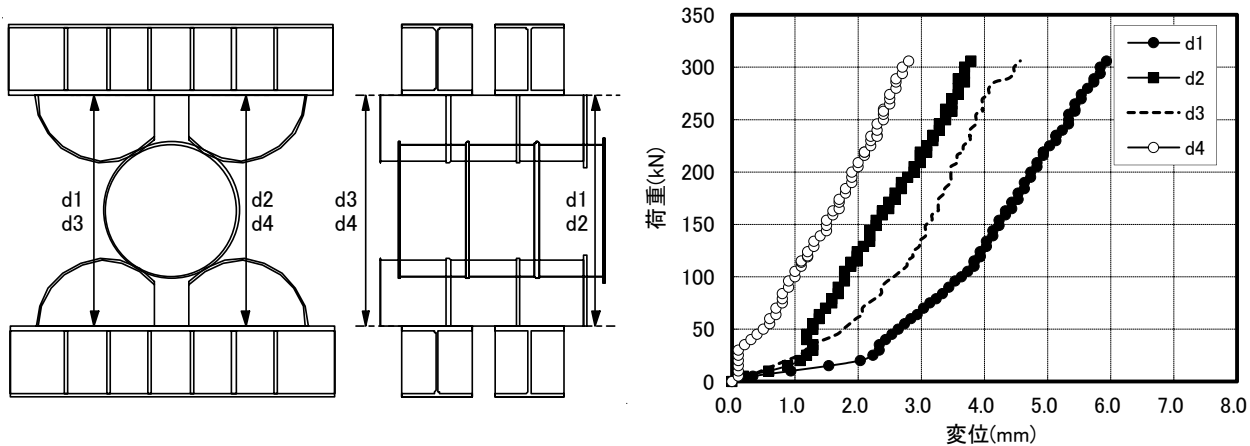


図 3-15 試験体 40 全体の鉛直変位量

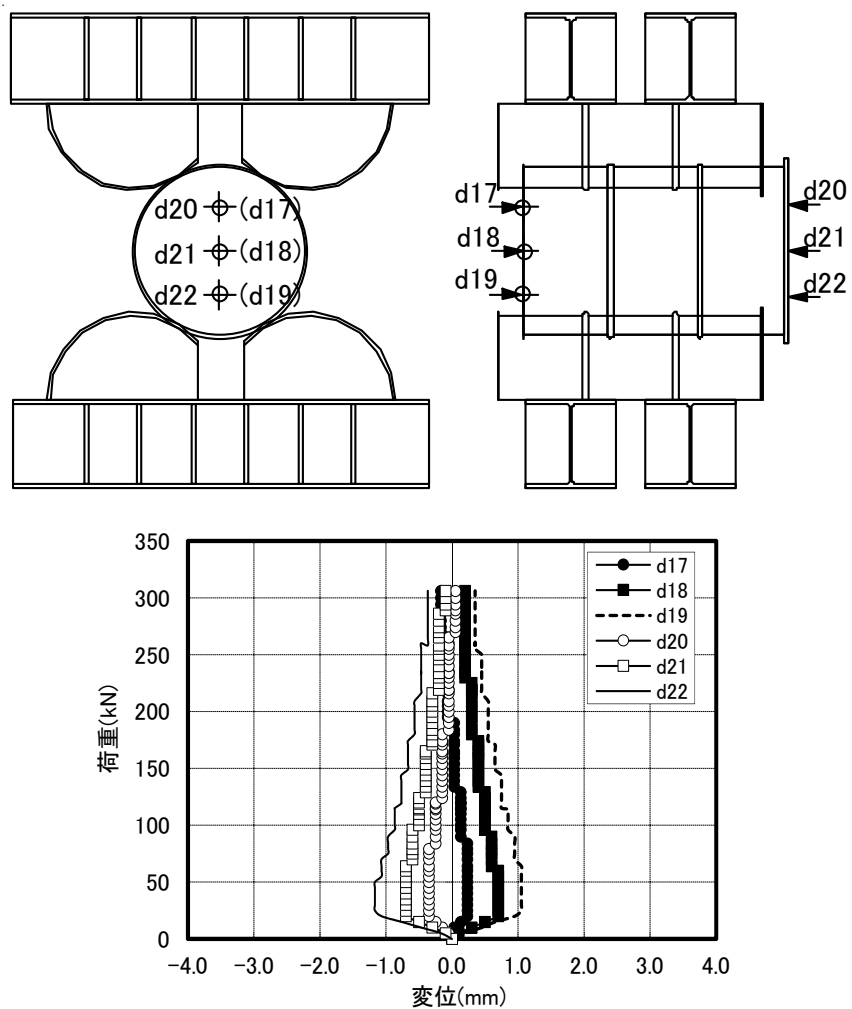
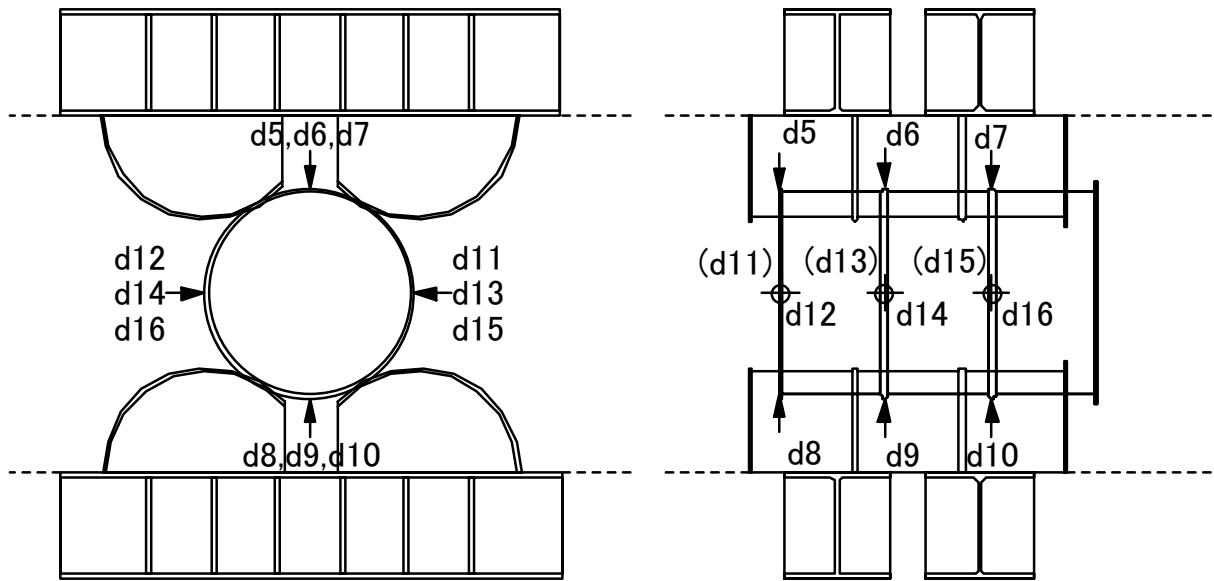


図 3-16 チャイム及び蓋の軸方向変位量 (試験体 40)



被試験体 名称	測定時 荷重 (kN)	計測位置	変位量(mm)		
			チャイム d5, d11, d8, d12	第一輪帯 d6, d13, d9, d14	第二輪帯 d7, d15, d10, d16
試験体 40	306	d5, d6, d7	-0.7	-1.4	-2.0
		d11, d13, d15	0.2	0.2	0.2
		d8, d9, d10	-2.8	-2.5	-2.2
		d12, d14, d16	-0.2	-0.1	0.0

図 3-17 チャイム部及び輪帯部の変位量 (試験体 40)

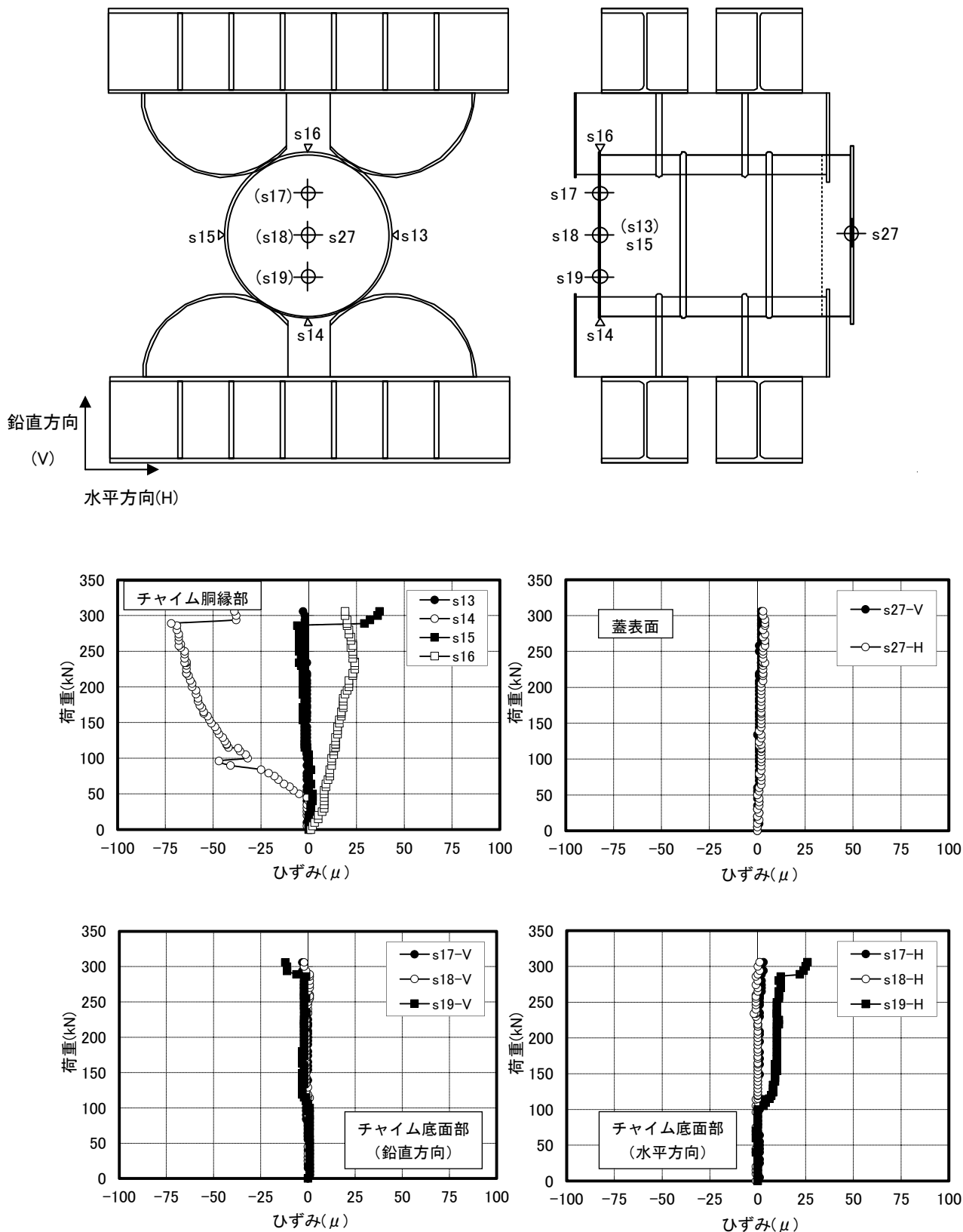


図 3-18 チャイム及び蓋のひずみ量 (試験体 40)

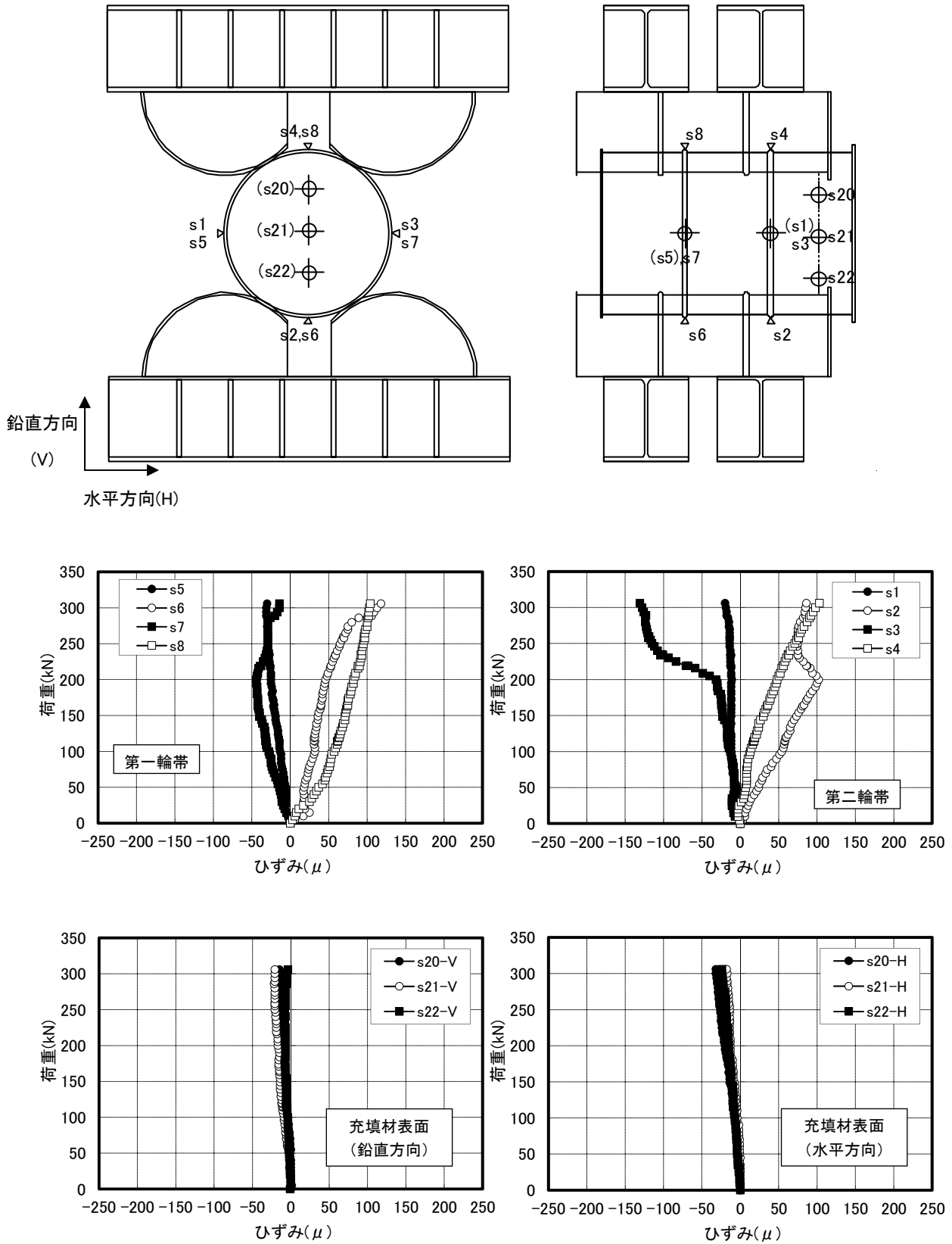


図 3-19 第一輪帯、第二輪帯及び固型化部頂面のひずみ量 (試験体 40)

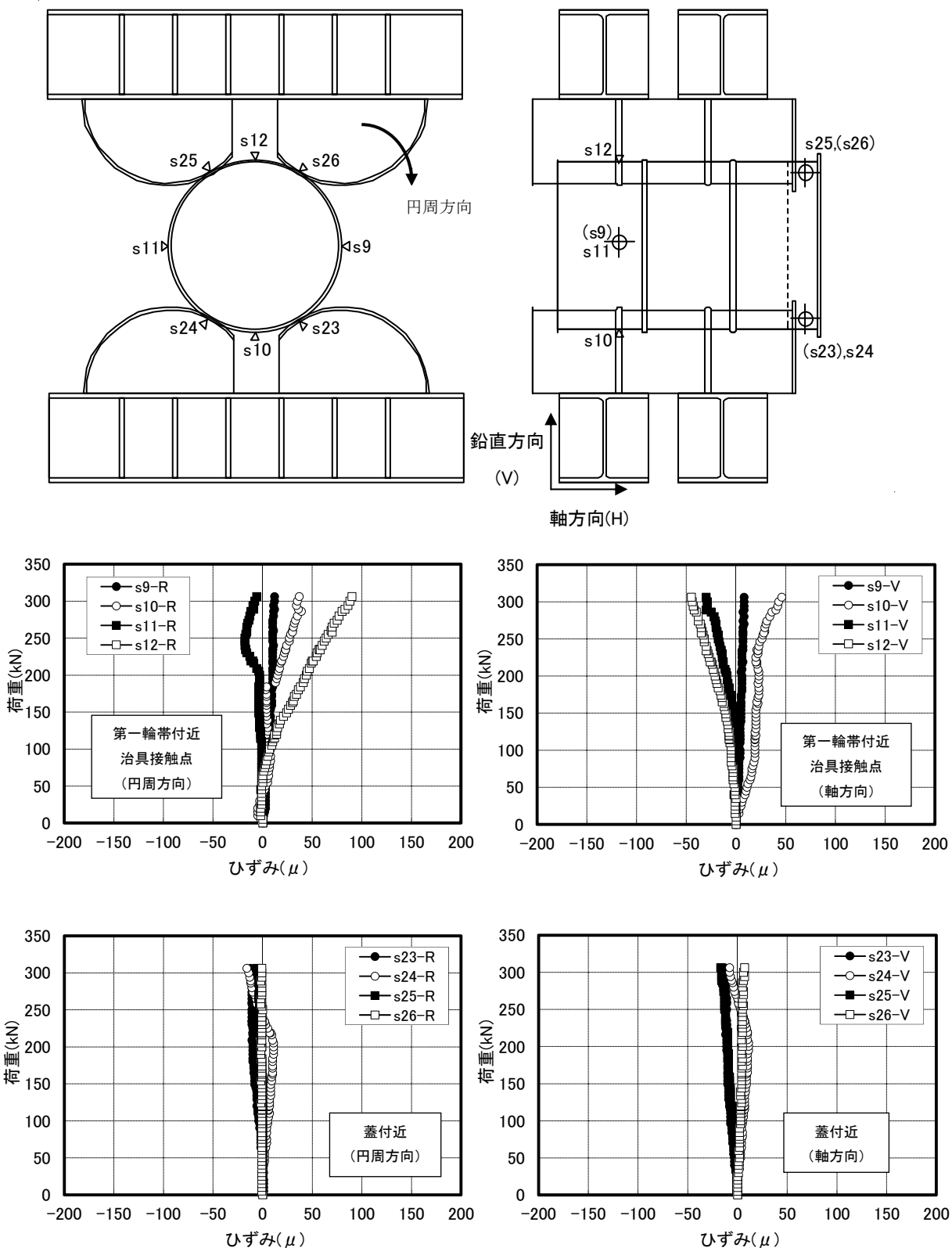


図 3-20 治具接触点及び蓋付近のひずみ量 (試験体 40)

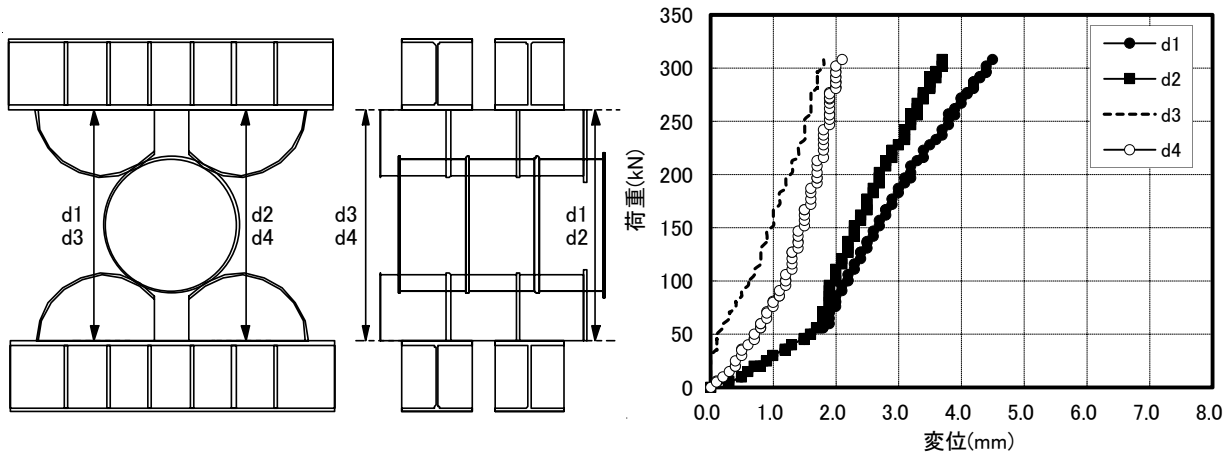


図 3-21 試験体 50 全体の鉛直変位量

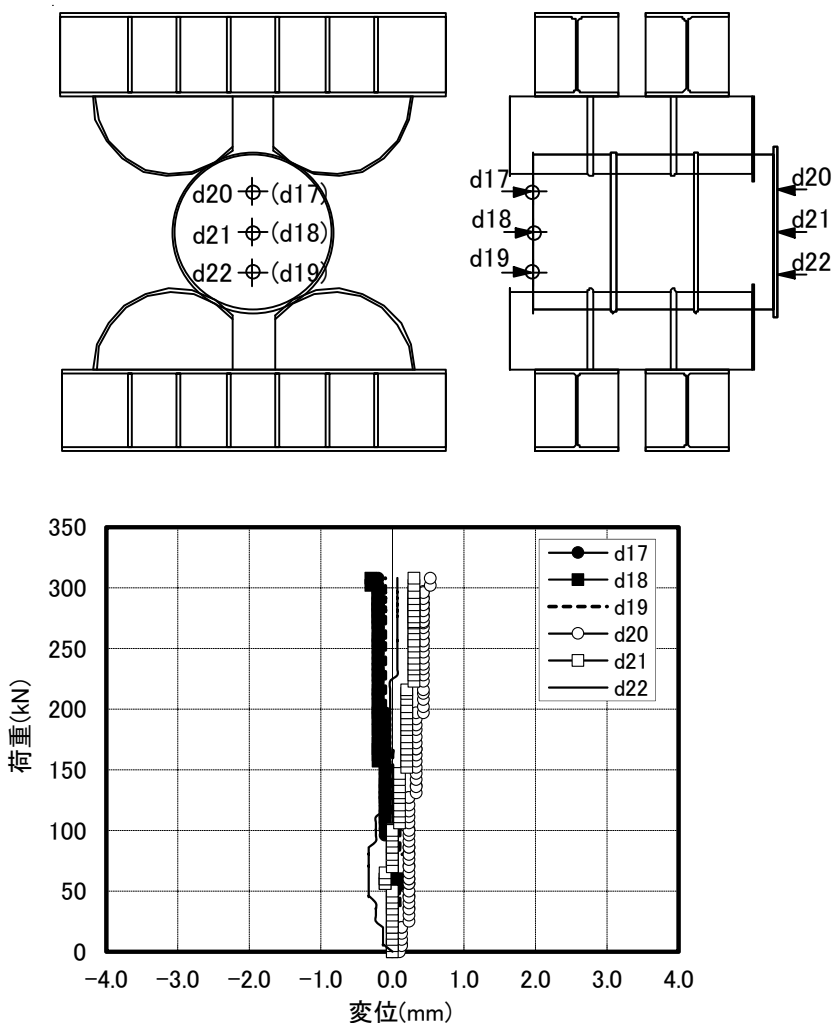
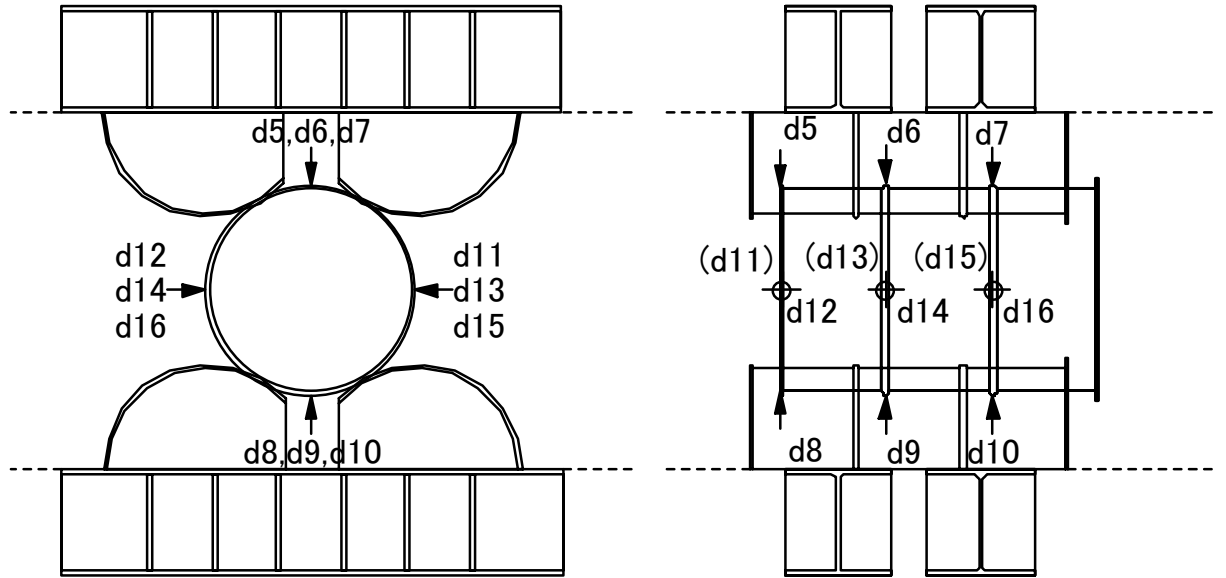


図 3-22 チェイム及び蓋の軸方向変位量 (試験体 50)



被試験体 名称	測定時 荷重 (kN)	計測位置	変位量(mm)		
			チャイム d5, d11, d8, d12	第一輪帯 d6, d13, d9, d14	第二輪帯 d7, d15, d10, d16
試験体 50	308	d5, d6, d7	-1.2	-1.6	-1.8
		d11, d13, d15	0.1	-1.0	-1.8
		d8, d9, d10	-0.6	-1.0	-1.3
		d12, d14, d16	-0.2	0.8	1.9

図 3-23 チャイム部及び輪帯部の変位量 (試験体 50)

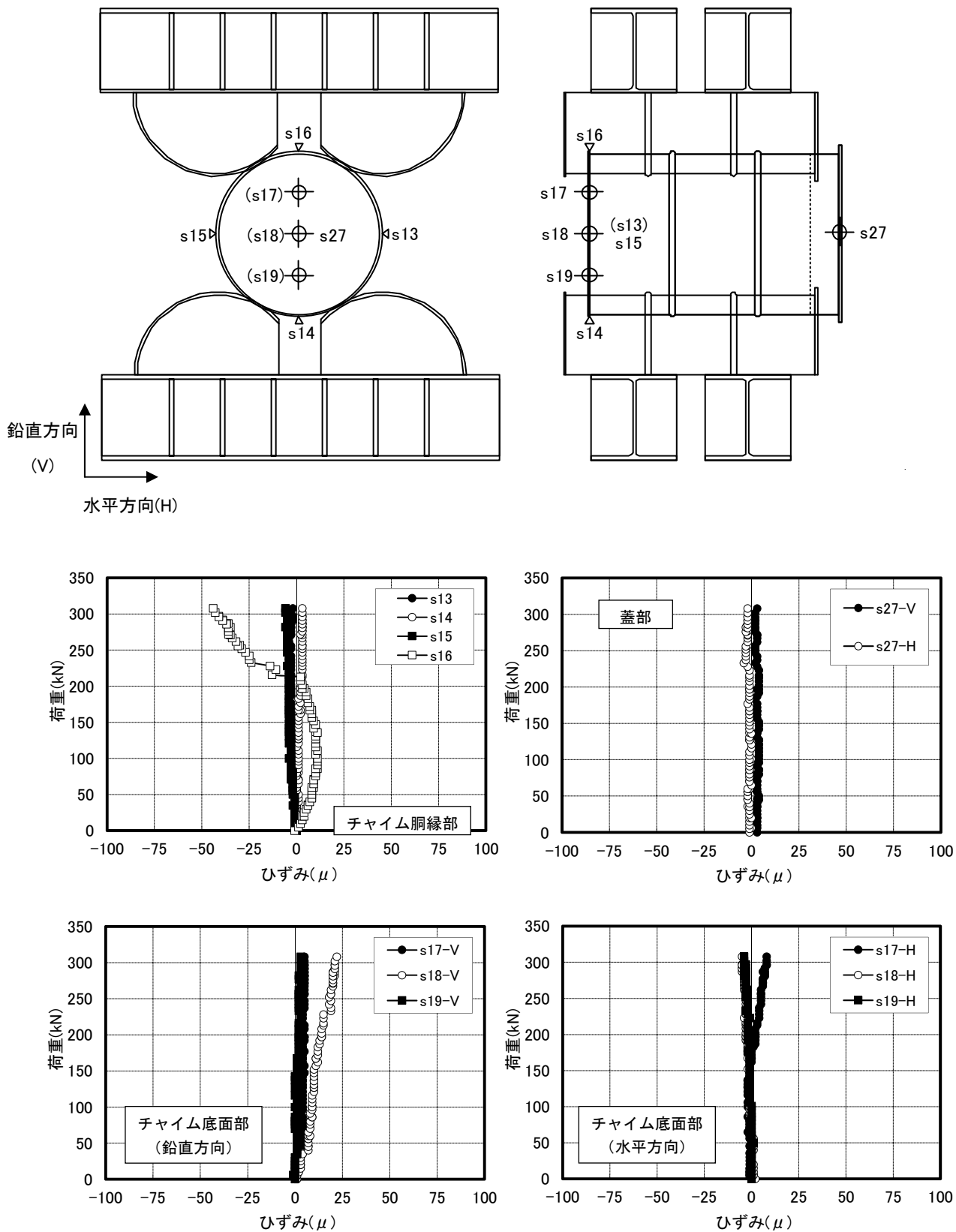


図 3-24 チャイム及び蓋のひずみ量 (試験体 50)



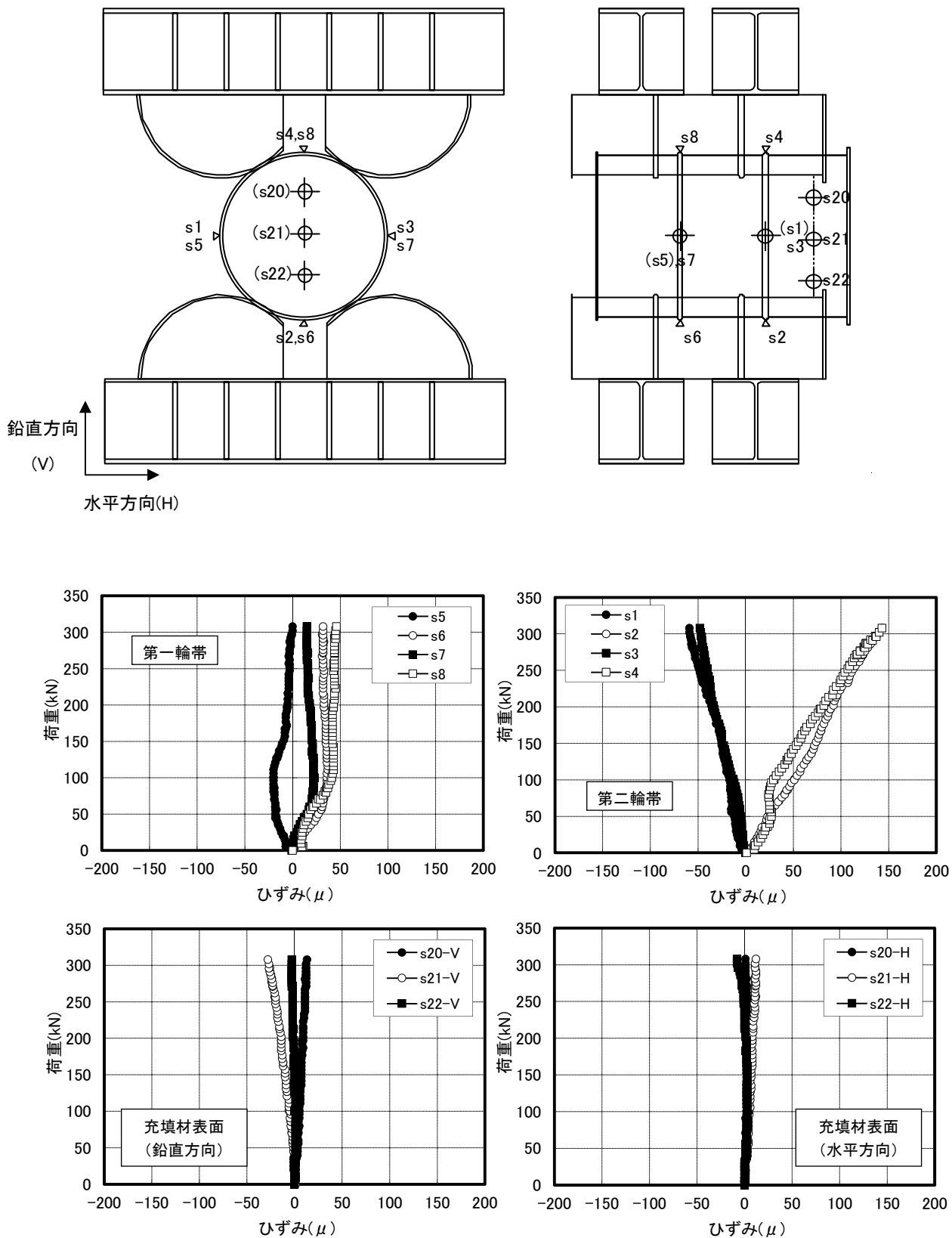


図 3-25 第一輪帯、第二輪帯及び固型化部頂面のひずみ量 (試験体 50)

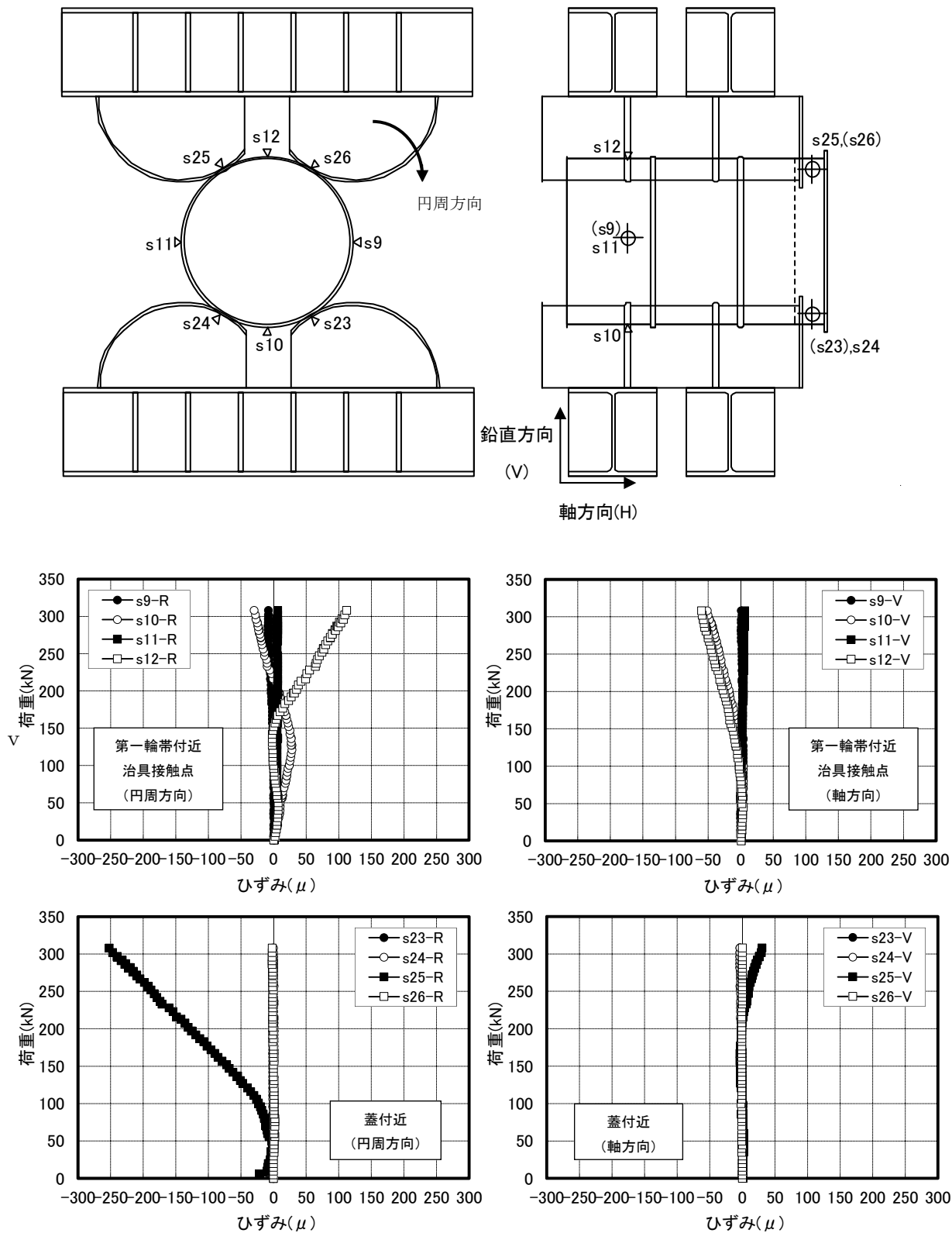


図 3-26 治具接触点及び蓋付近のひずみ量 (試験体 50)

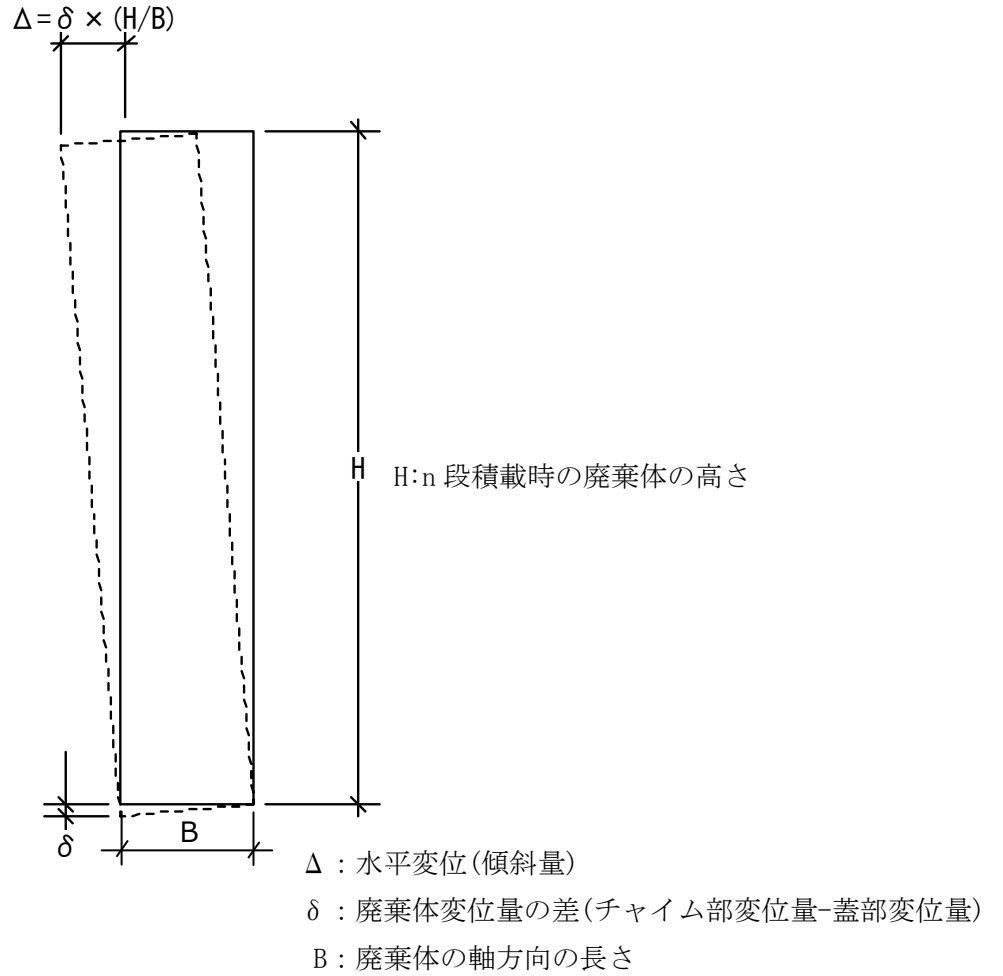


図 3-27 廃棄体の傾斜量評価に係る概念図

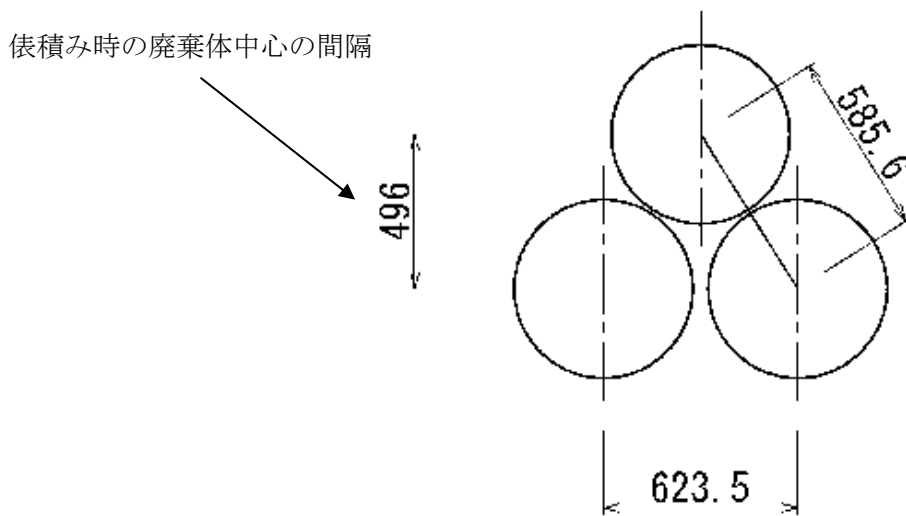


図 3-28 廃棄体の定置状態 (図 3-29 においてドラム缶の軸方向から着目)

[単位 : mm]



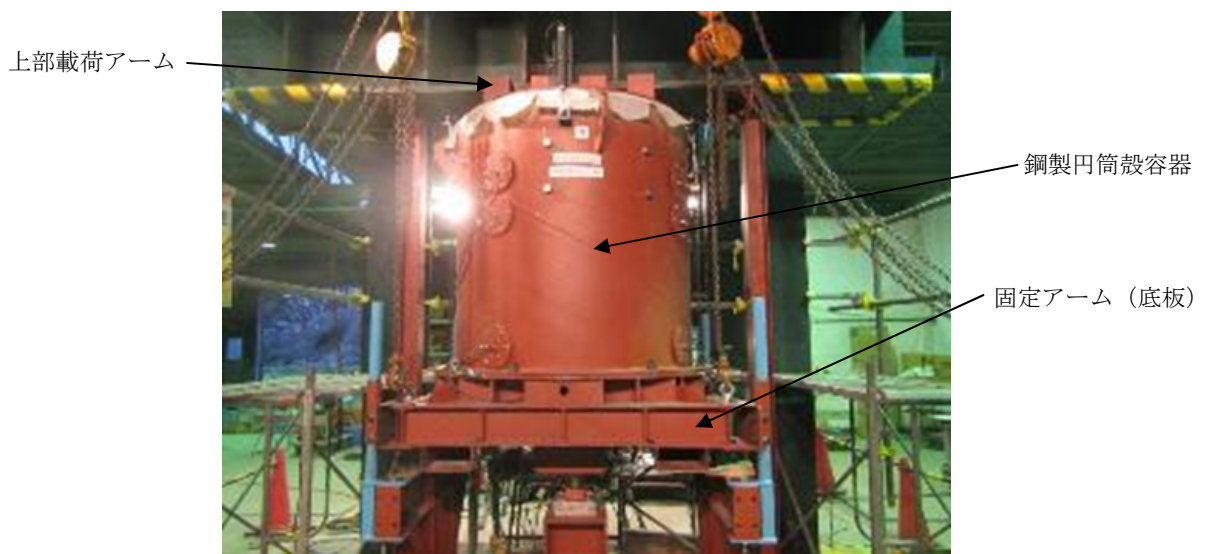
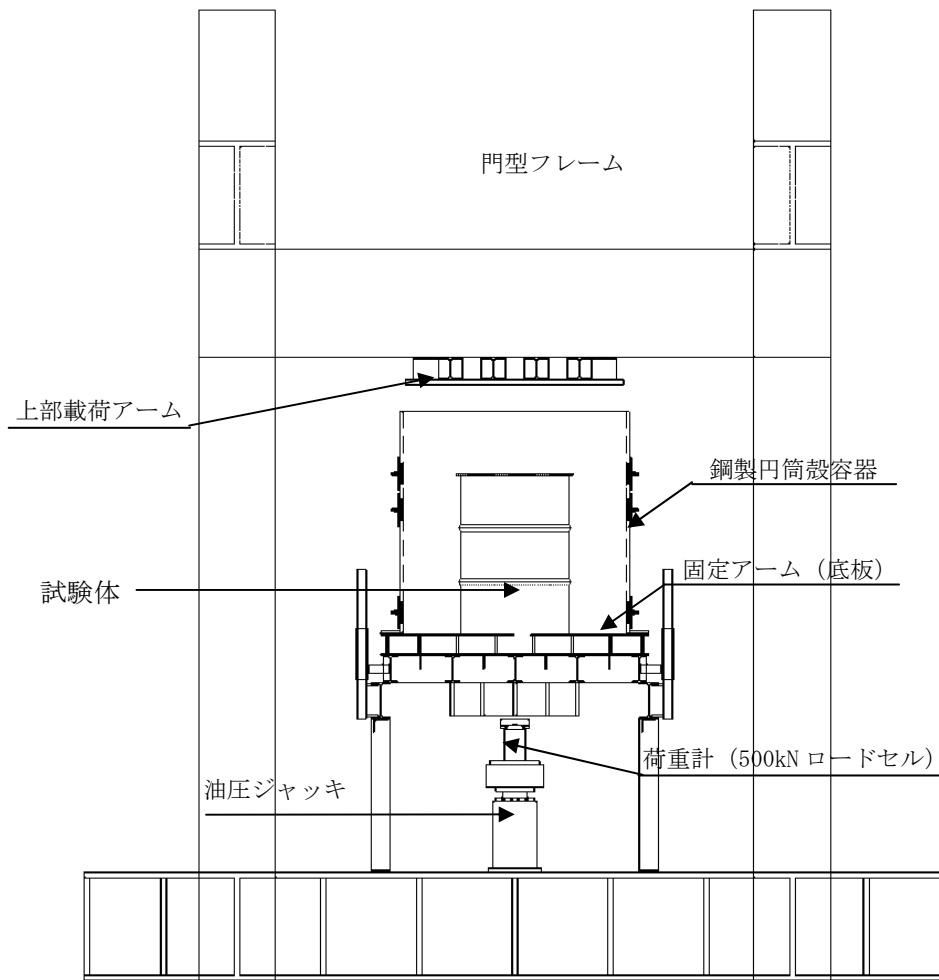


図 4-1 トレンチに係る試験装置

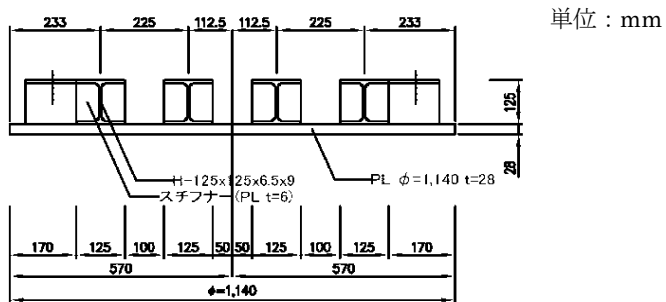


図 4-2 上部荷重アーム

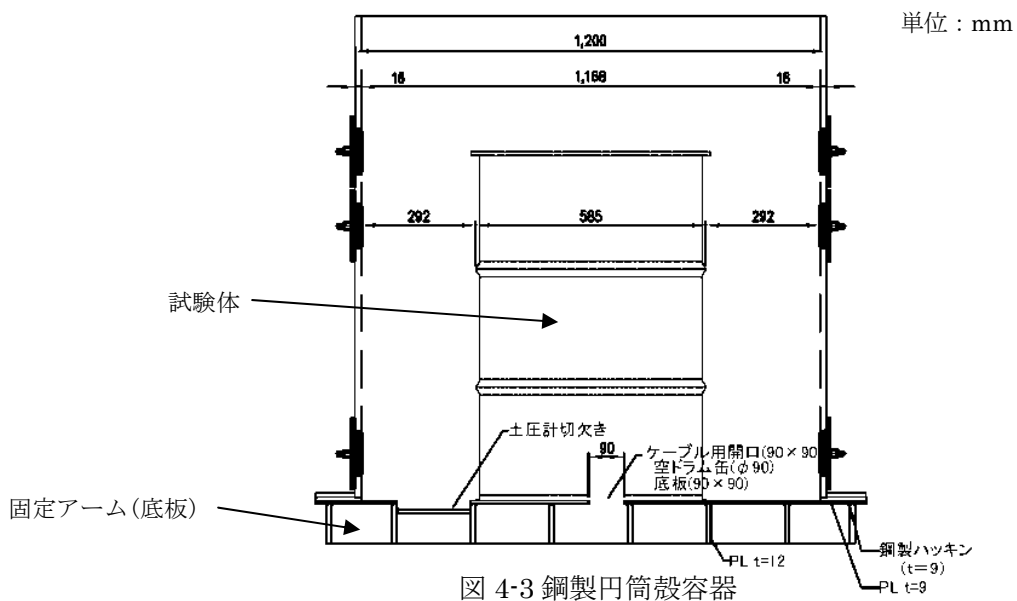


図 4-3 鋼製円筒殻容器

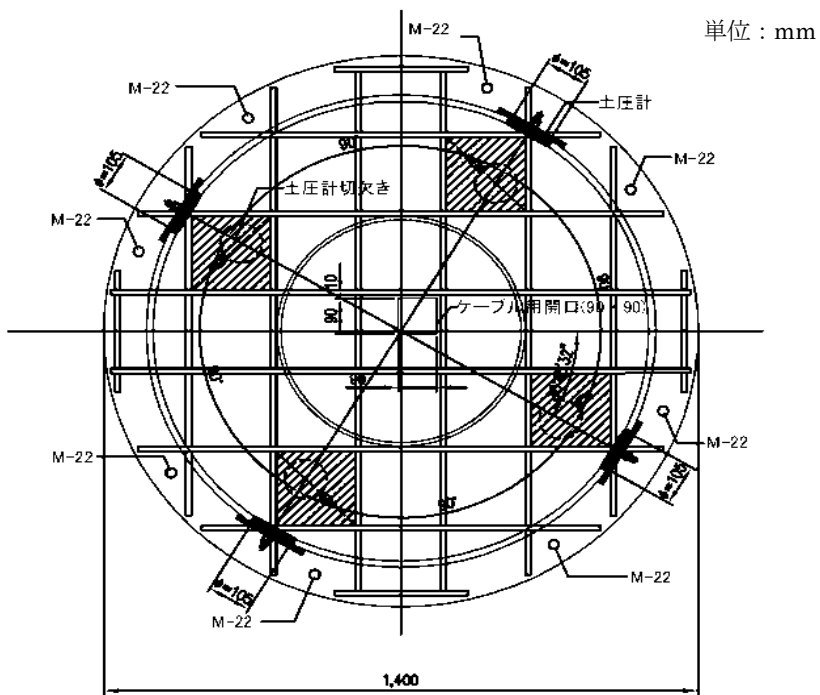


図 4-4 固定アーム (底板)



図 4-5 トレンチに係る計測システム

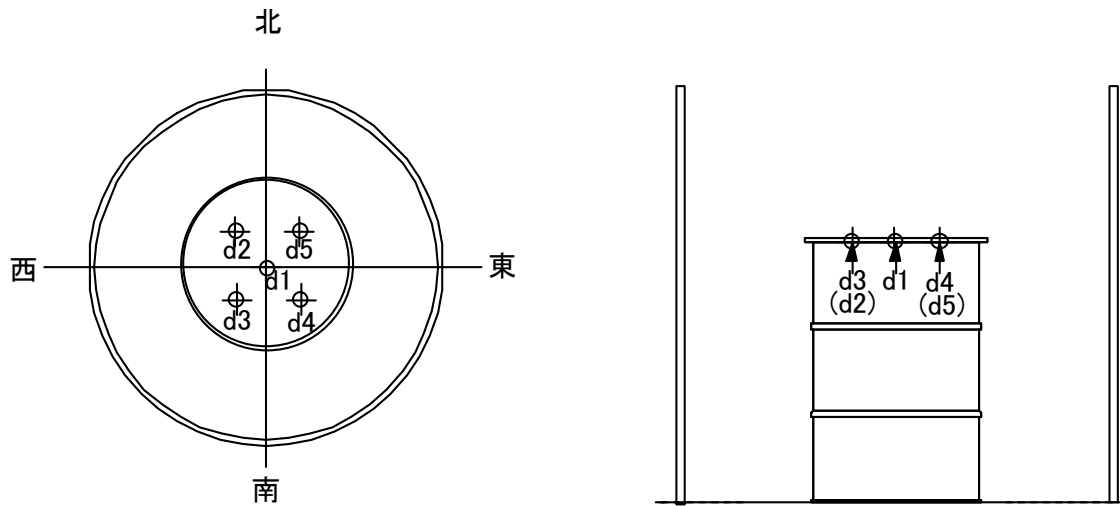


図 4-6 ドラム缶蓋部の変位計の設置位置

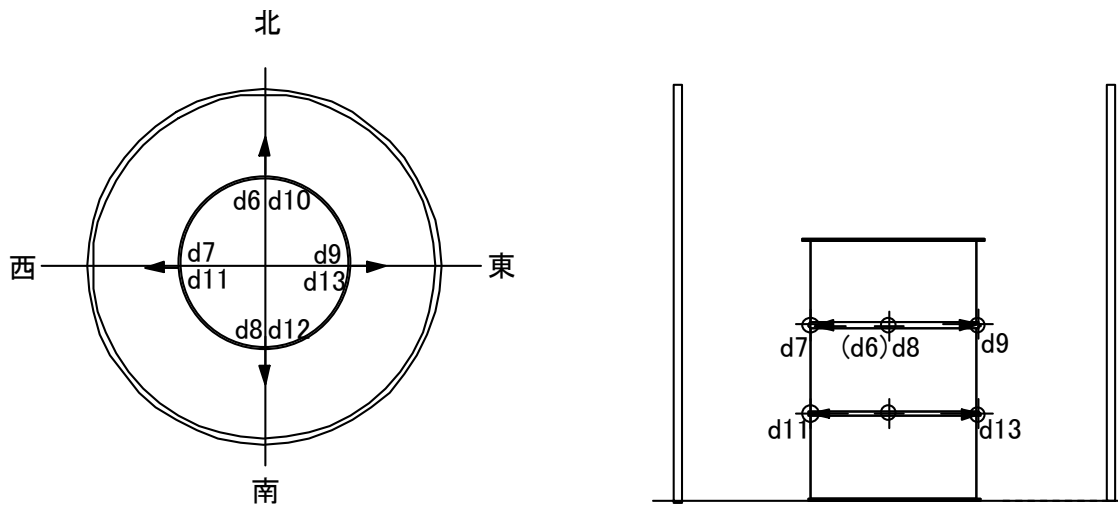


図 4-7 ドラム缶輪帯部の変位計の設置位置

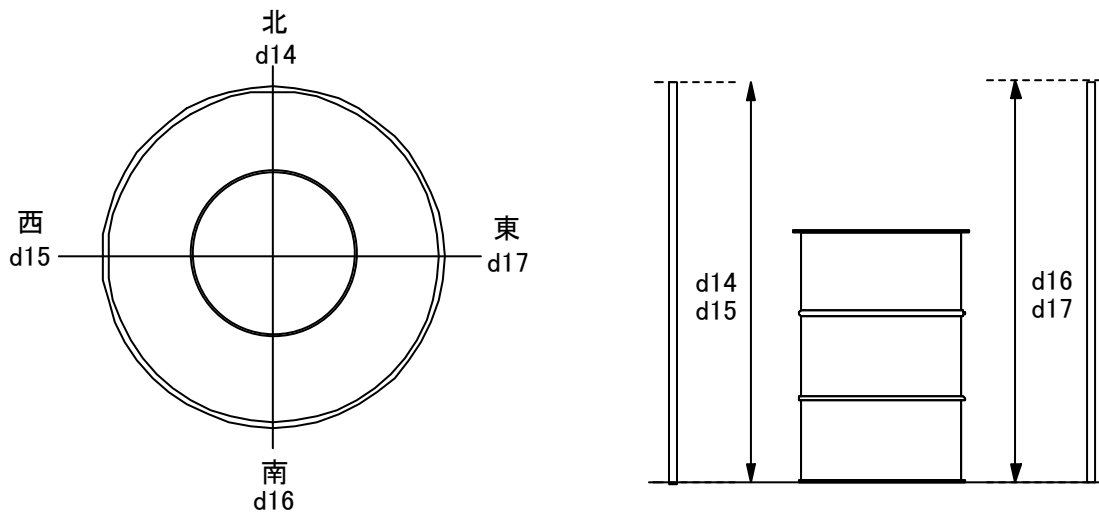


図 4-8 鋼製円筒殻容器内の変位計の設置位置



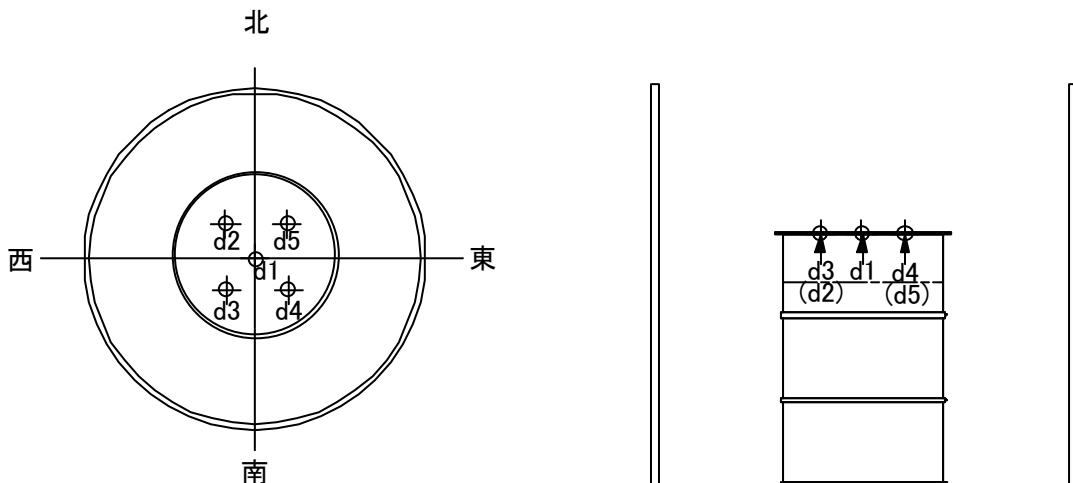


図 4-9 試験体の蓋部の変位計の設置位置

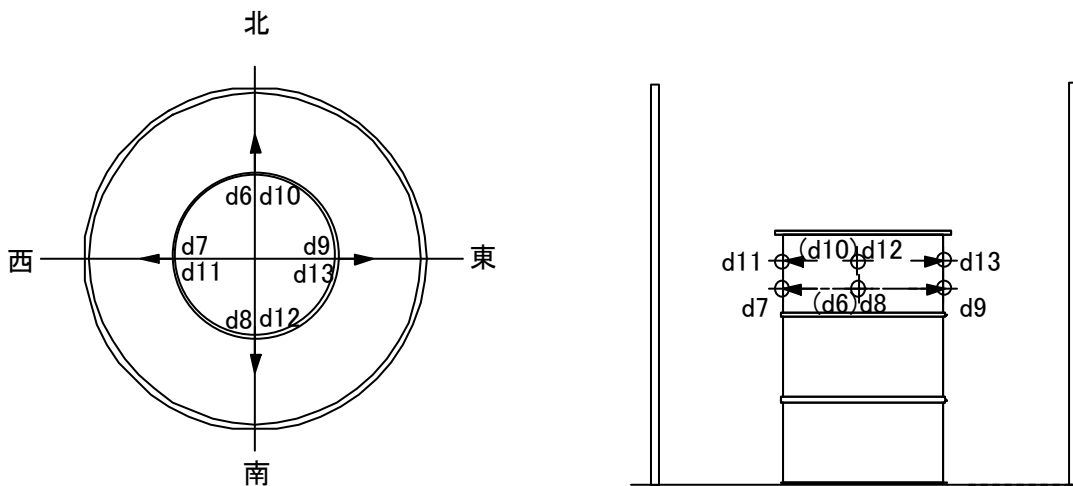


図 4-10 試験体の上部空げき部の変位計の設置位置

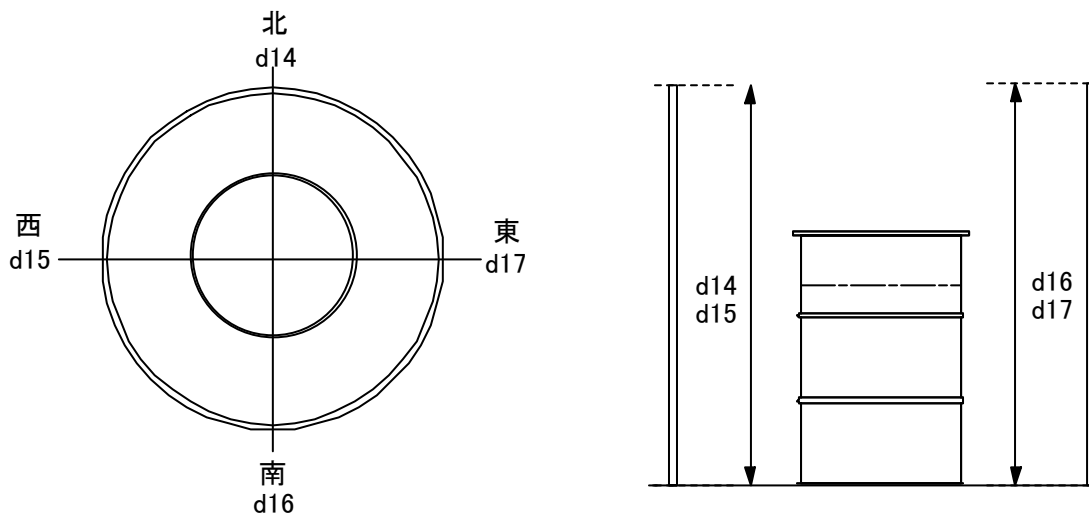


図 4-11 鋼製円筒殻容器内の変位計の設置位置 (試験体)

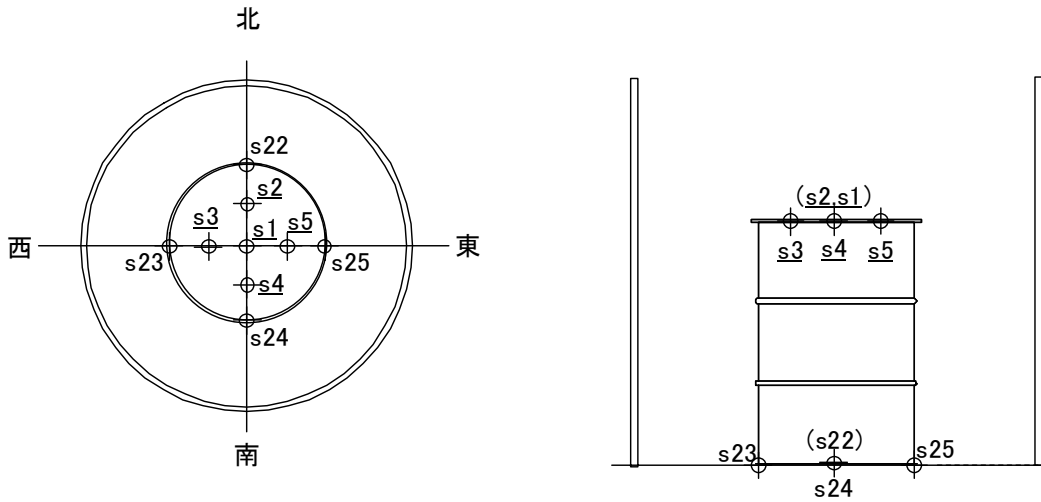


図 4-12 ドラム缶蓋部及びチェーン部のひずみ計の設置位置

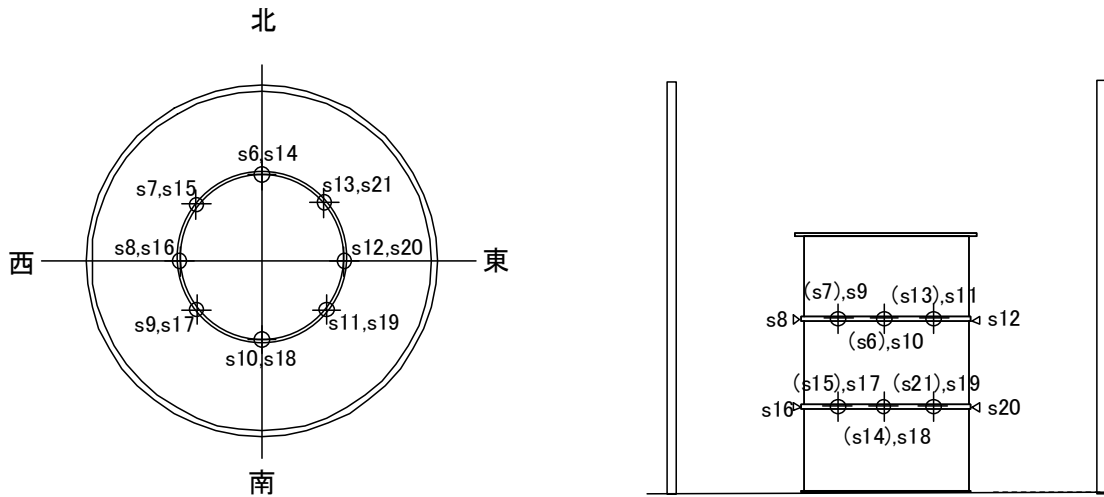


図 4-13 ドラム缶の輪帯部のひずみ計の設置位置

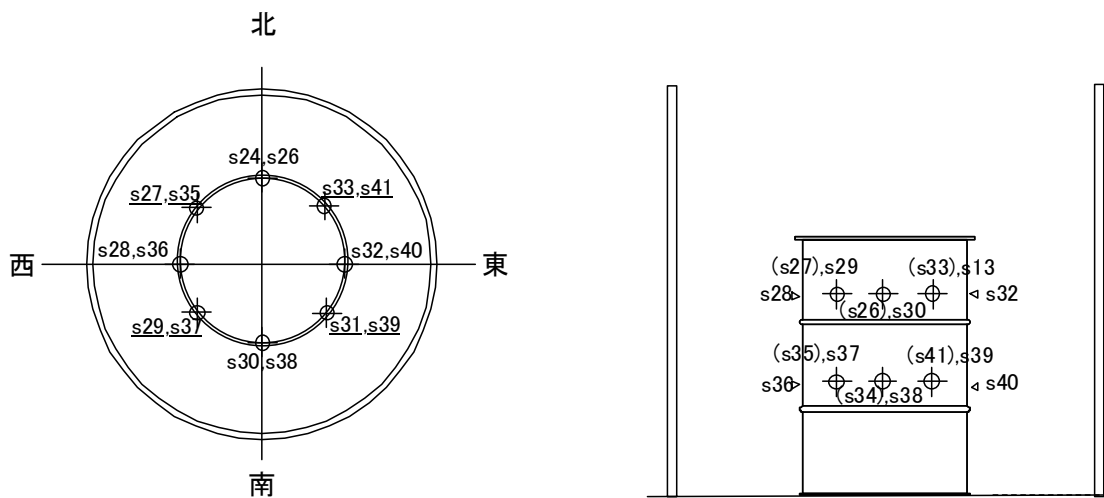
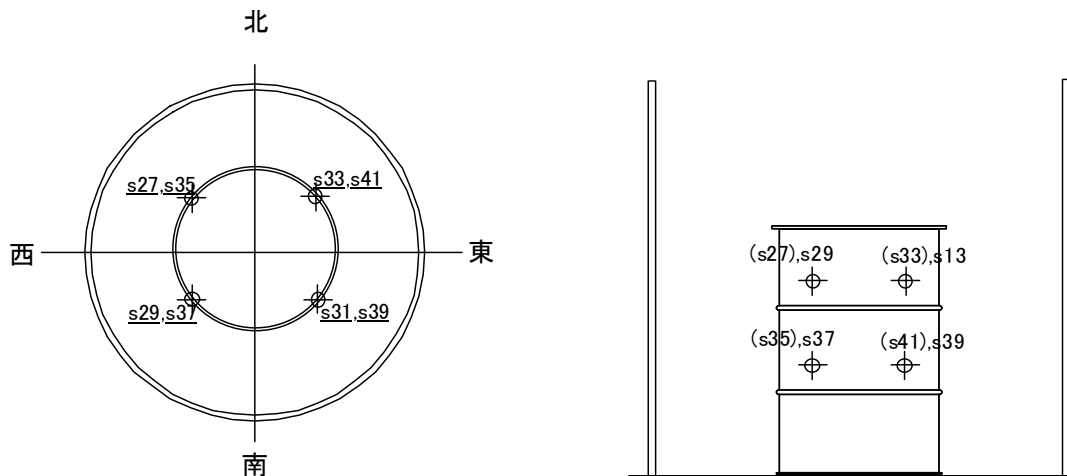
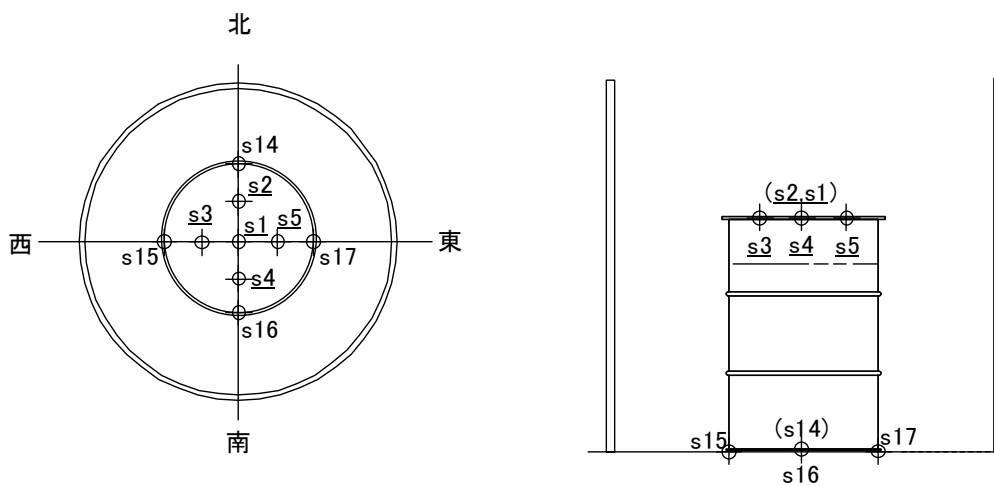


図 4-14 ドラム缶の輪帯部上部のひずみ計の設置位置



※ 下線部は、2軸(軸方向及び円周方向)ひずみ計を設置

図 4-15 ドラム缶の輪帯部上部の2軸ひずみ計の設置位置



下線部は、2軸ひずみ計を設置

図 4-16 試験体蓋部及びチェーン部のひずみ計の設置位置

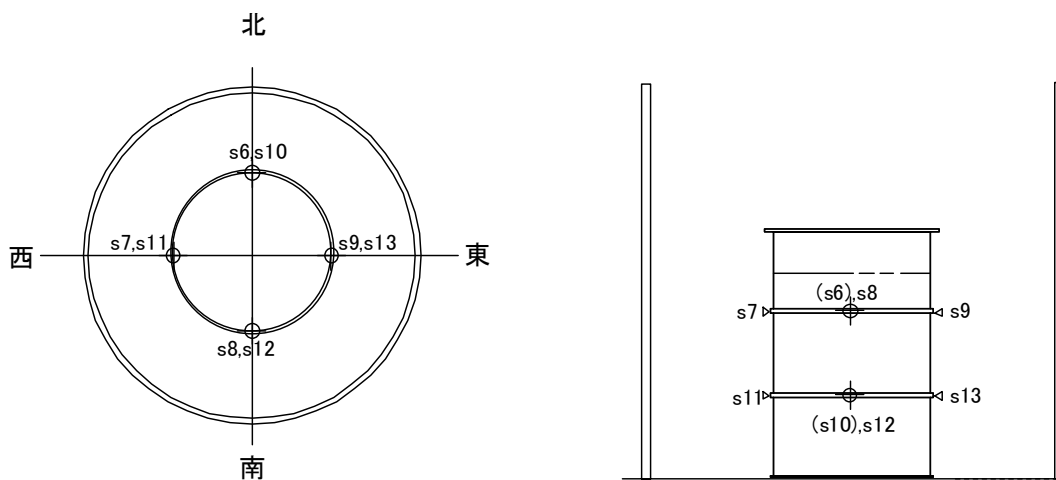
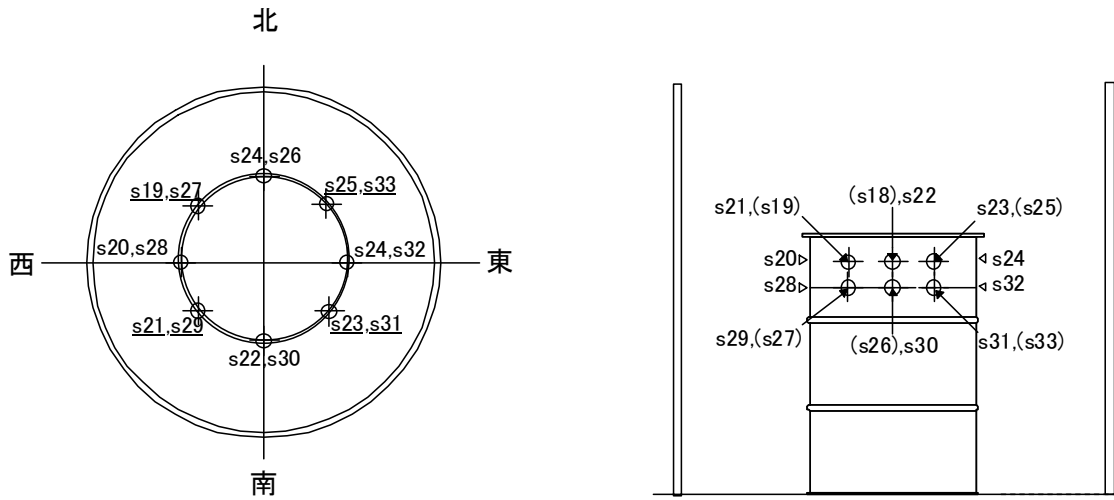


図 4-17 試験体輪帯部のひずみ計の設置位置



※ 下線部は、2軸(軸方向及び円周方向)ひずみ計を設置、下線なしは1軸ひずみ計を設置

図 4-18 試験体上部空げき部のひずみ計の設置位置

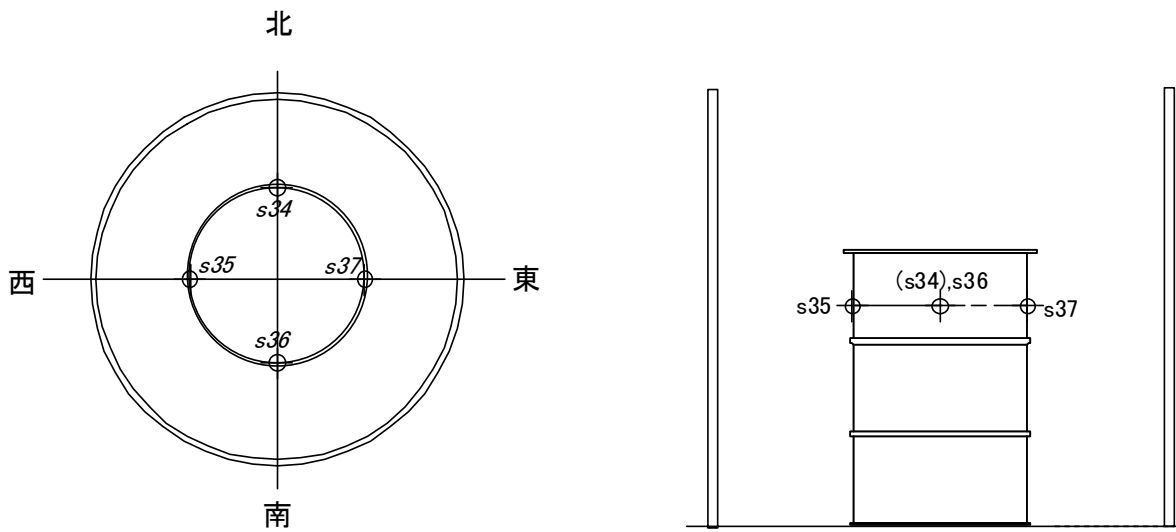
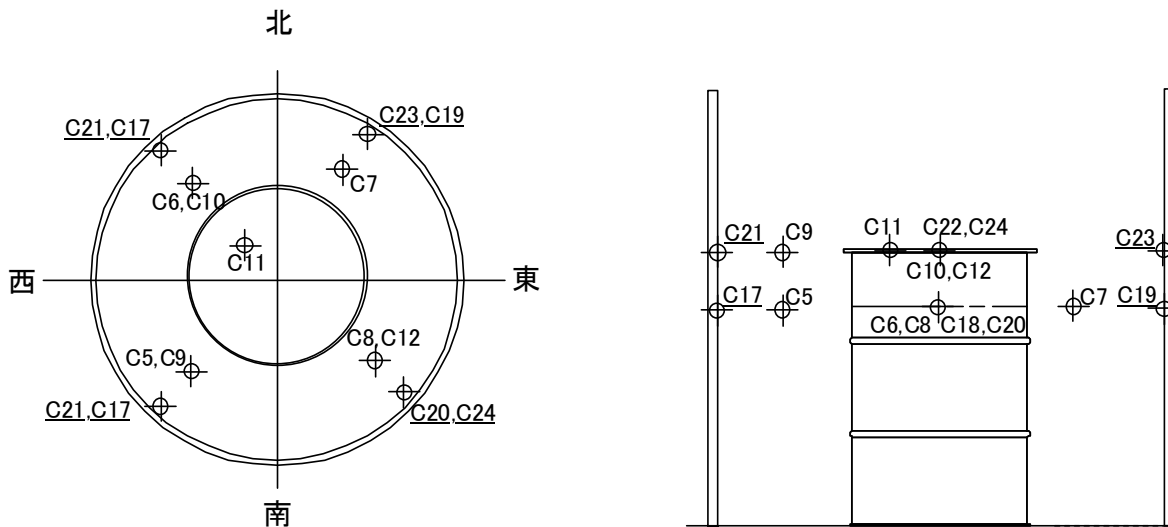
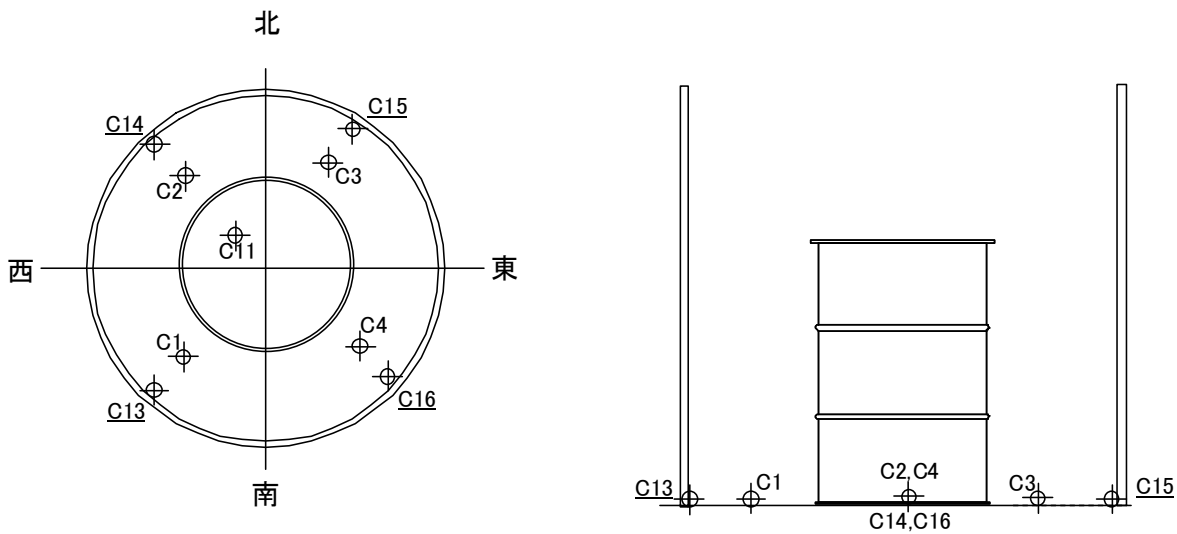


図 4-19 試験体内の固型化部上面のひずみ計の設置位置



※ 下線部は、水平方向の圧力を測定、下線なしは鉛直方向の圧力を測定

図 4-20 鋼製円筒殻容器内の土圧計の設置位置



※ 下線部は、水平方向の圧力を測定、下線なしは鉛直方向の圧力を測定

図 4-21 鋼製円筒殻容器内の底部の土圧計の設置位置

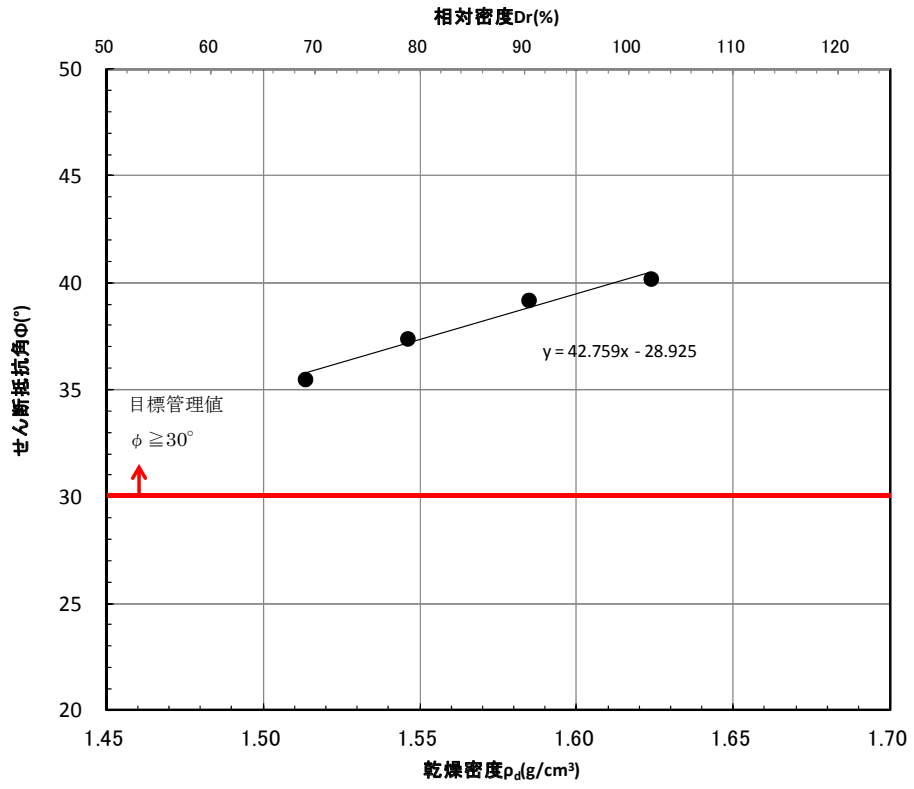


図 4-22 砂の乾燥密度  $\rho_d$  とせん断抵抗角  $\Phi$  との関係

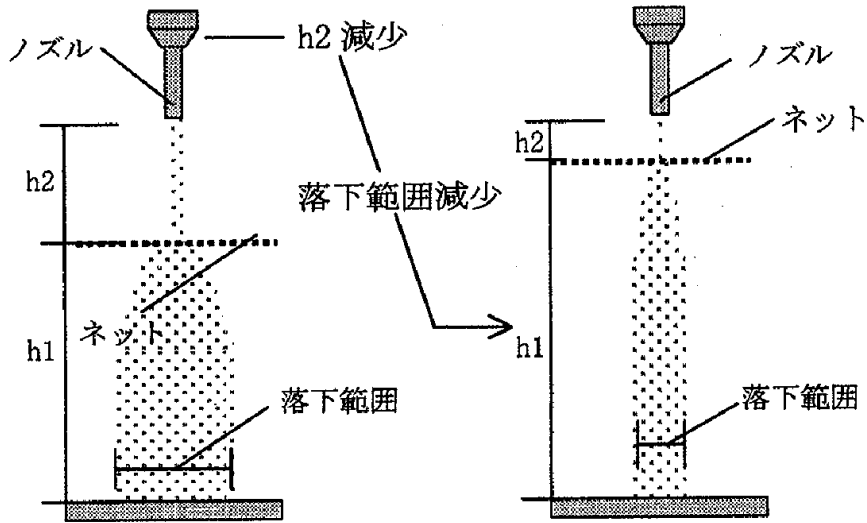


図 4-23 ノズル・ネット法の概念図

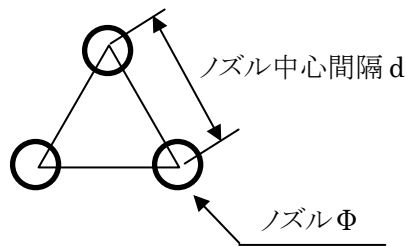
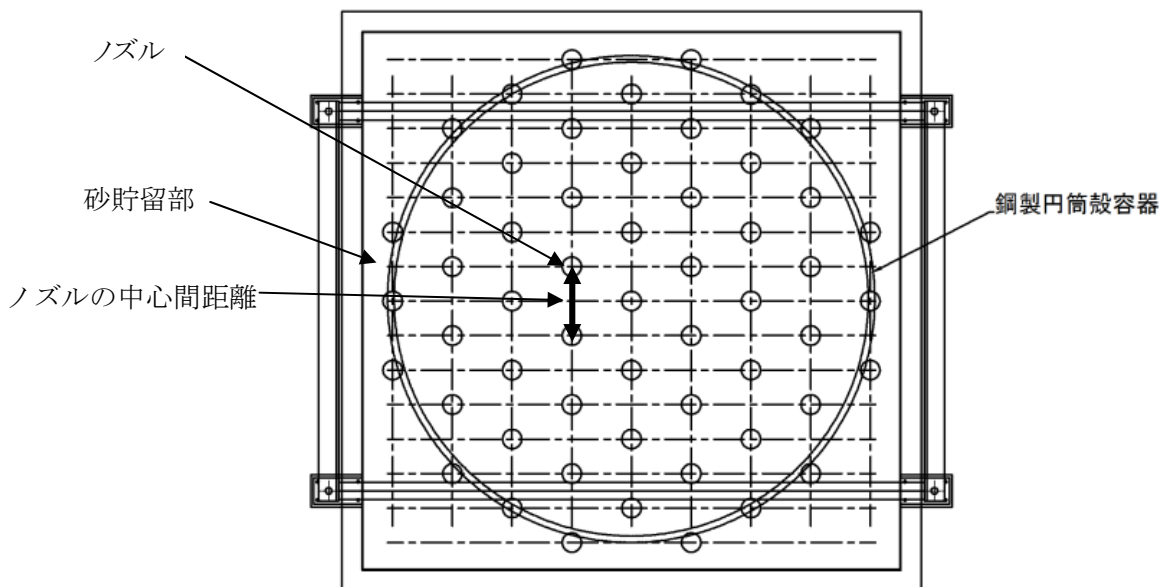
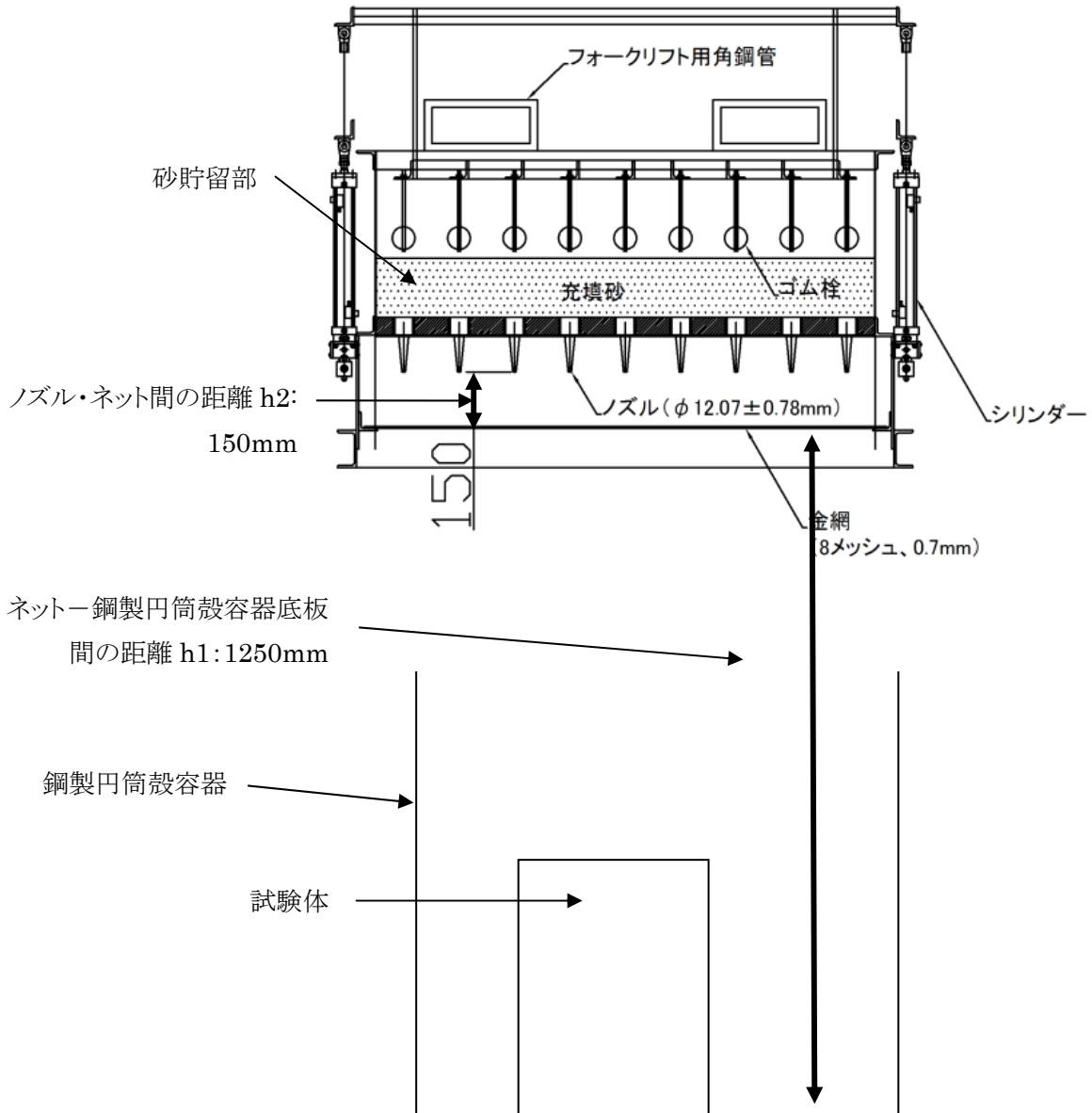


図 4-24 ノズル配置（正三角形配置）



※ 鋼製円筒殻容器より大きい正方形の砂貯留部の底に、砂を流下させるノズルを 170 mmピッチで配置

図 4-25 地盤材料投入装置（上から見た図）



- ※1 砂を約 200 kg 貯留し、鋼製円筒殻容器に 150 mm の砂の撒き出しを行う。
- ※2 撒き出しは鋼製円筒殻容器が満たすまで繰り返す。
- ※3 撒きだした地盤材料とネットの距離は  $h_1$  を保つため、撒き出しを行う都度、地盤材料投入装置はフォークリフトで上昇させる。

図 4-26 地盤材料投入の概要 (横から見た図)



鋼製円筒殻容器

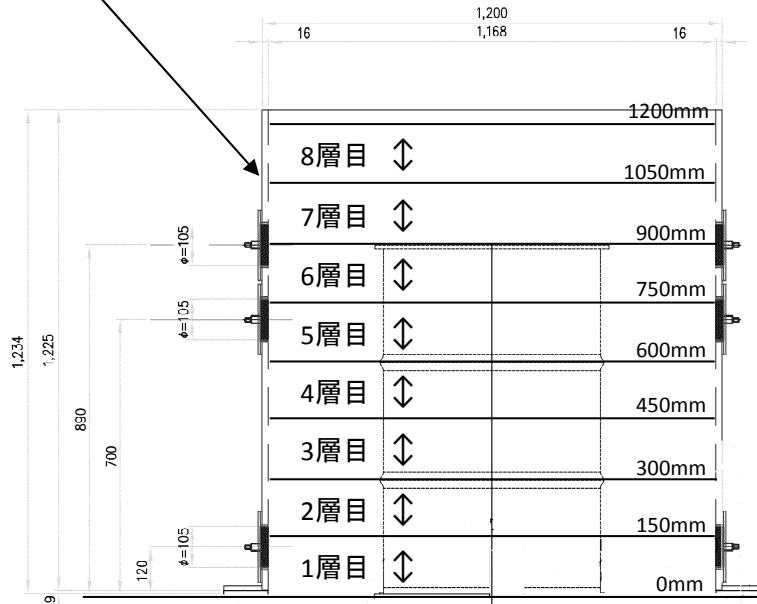
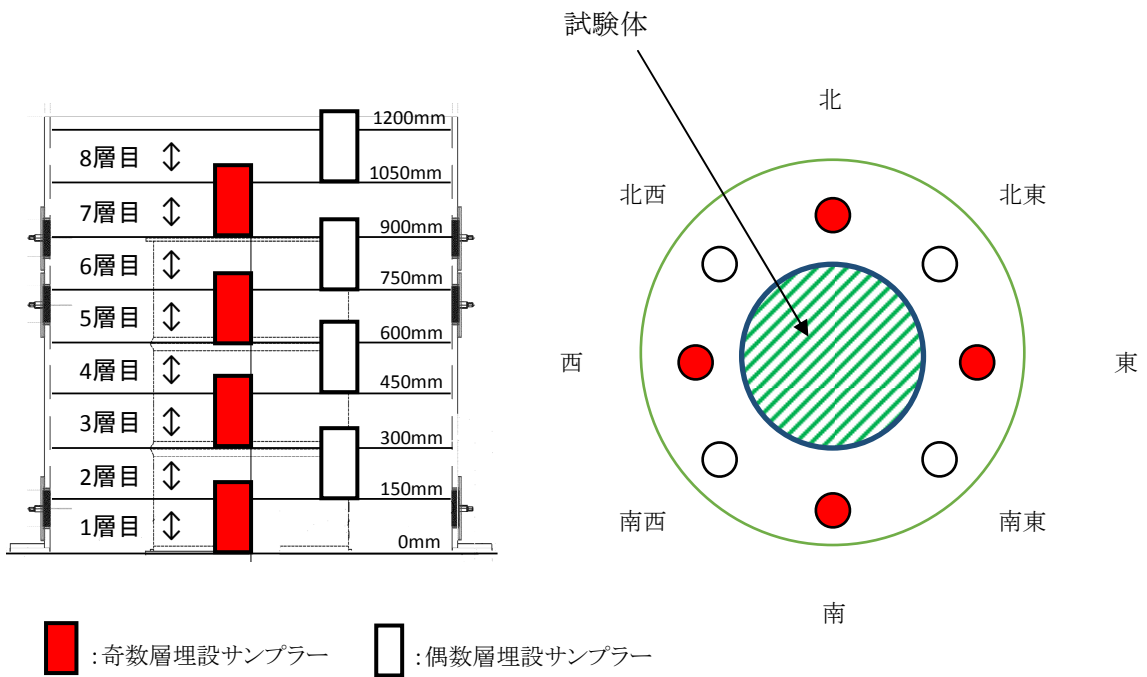


図 4-27 地盤製作の層分割



※ 右図は、鋼製円筒殻容器を上から見た図

図 4-28 地盤密度確認用サンプラーの配置

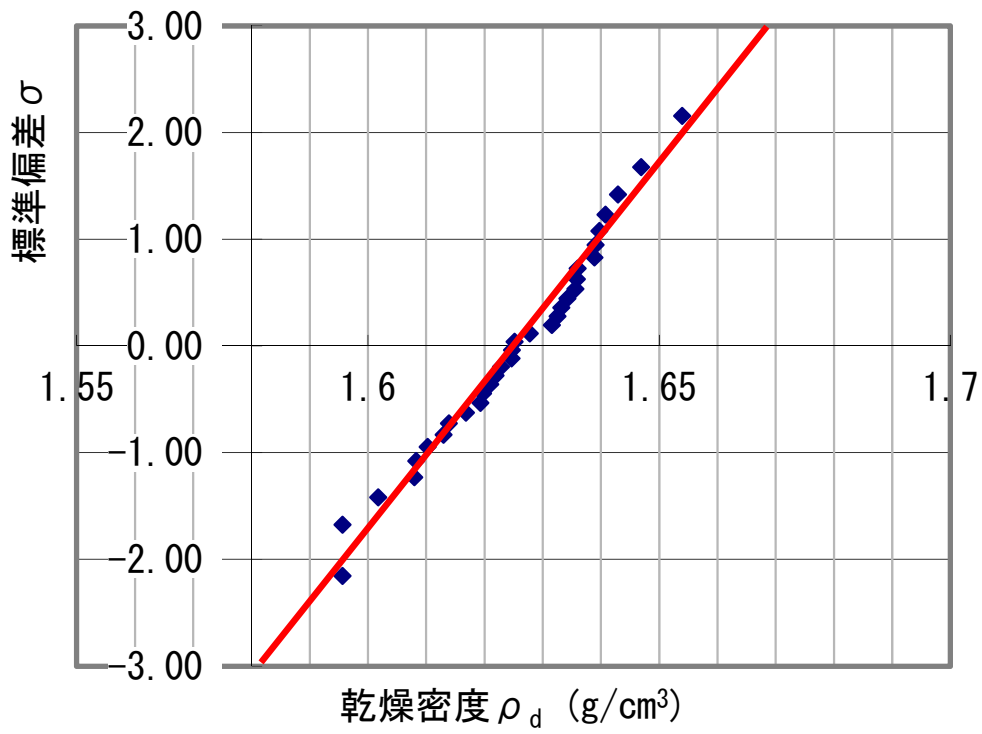


図 4-29 地盤材料投入装置の性能確認試験結果における乾燥密度の正規確率プロット

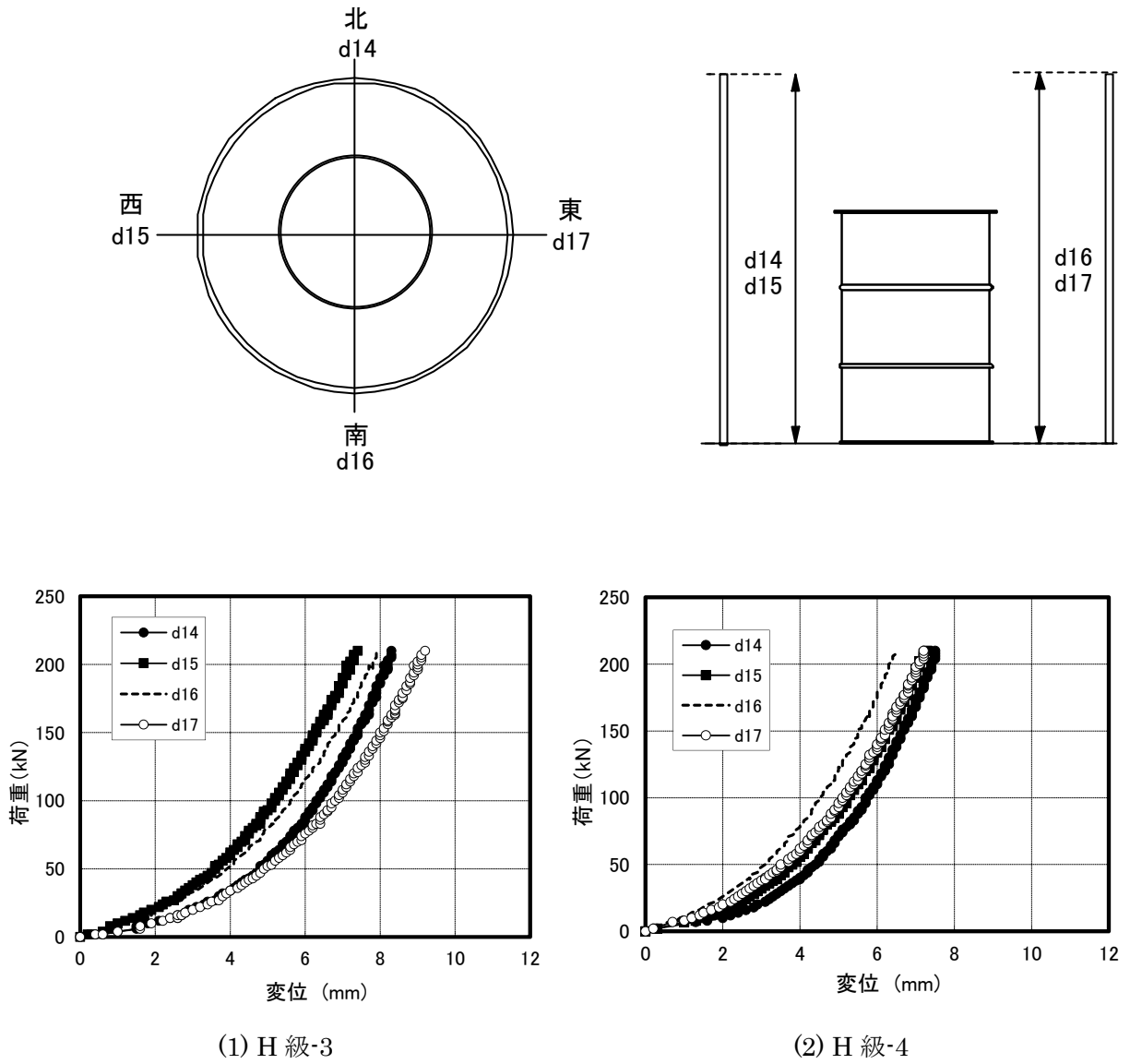
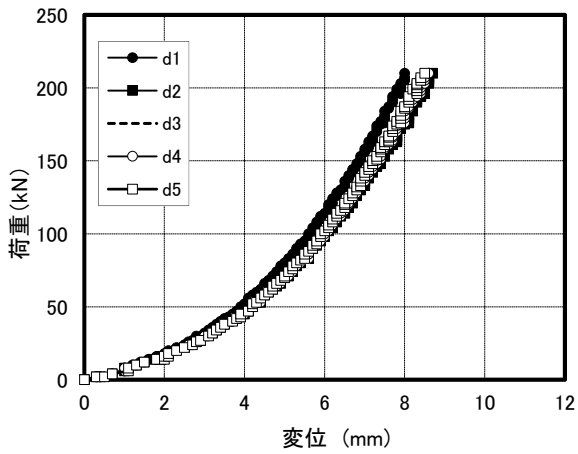
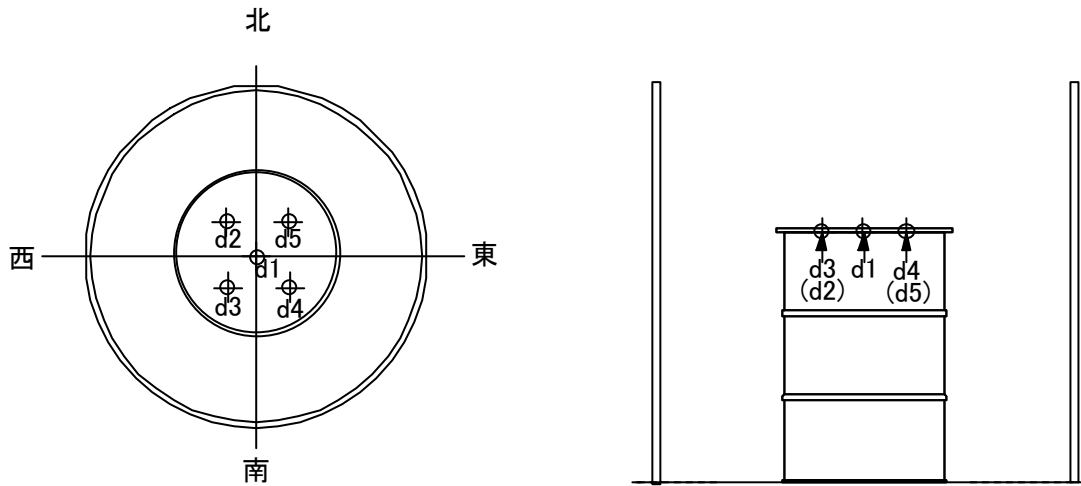
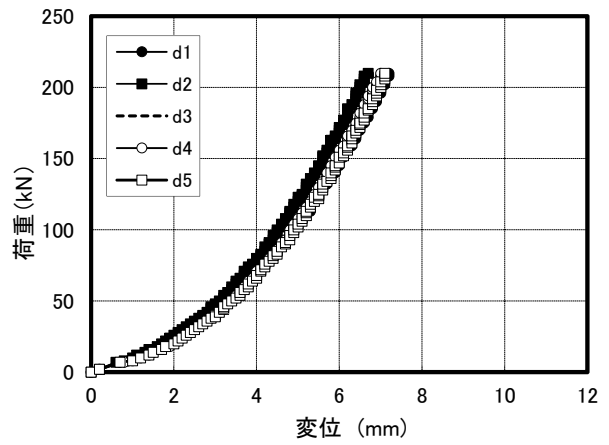


図 4-30 地盤材料全体の変位量 (200 リットルドラム缶 H 級)

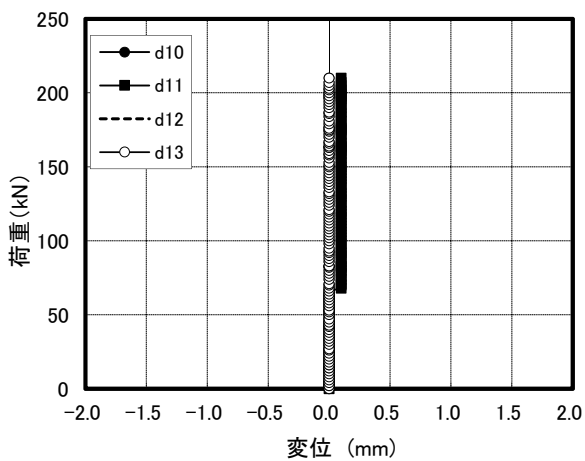
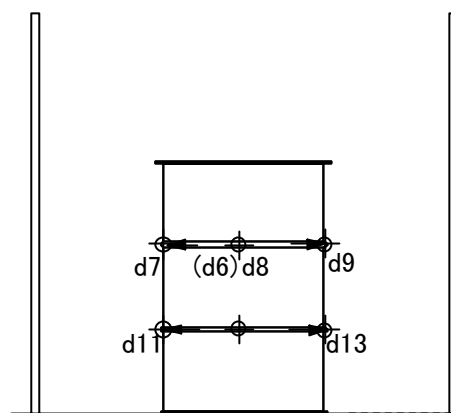
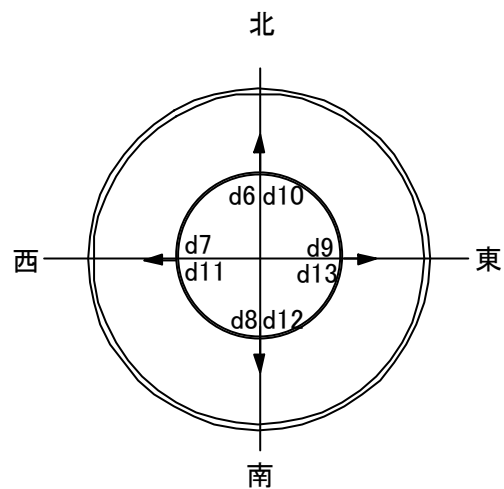


(1) H級-3

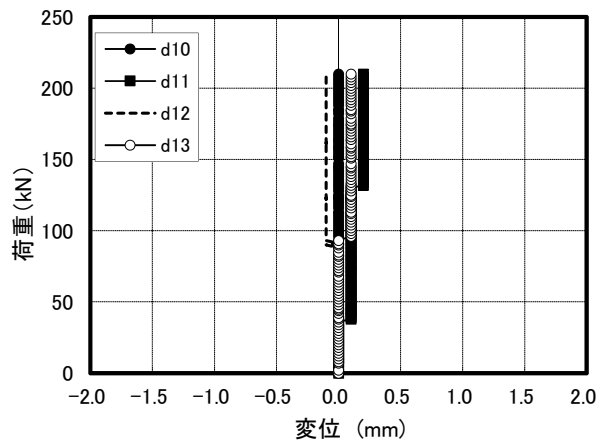


(2) H級-4

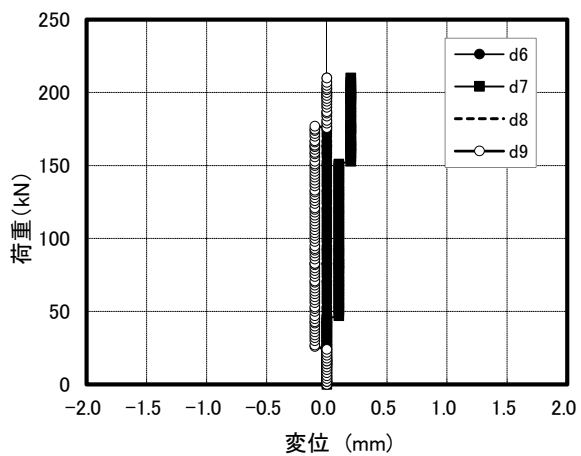
図 4-31 蓋部の変位量 (200 リットルドラム缶 H 級)



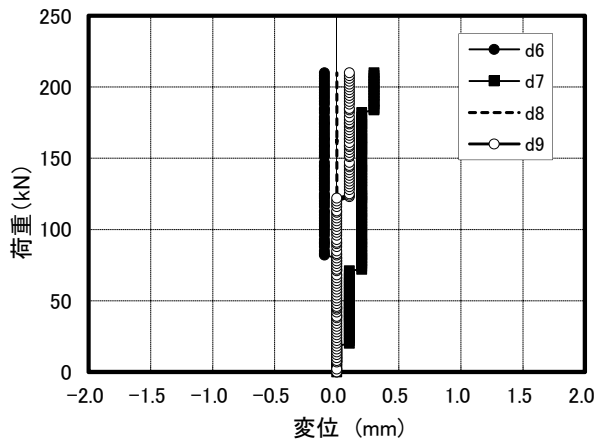
(1) H 級-3、第一輪帯部



(2) H 級-4、第一輪帯部

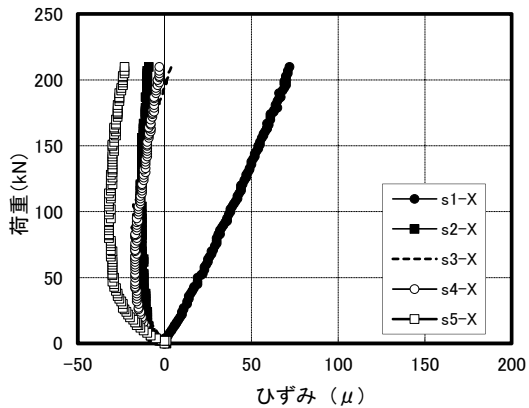
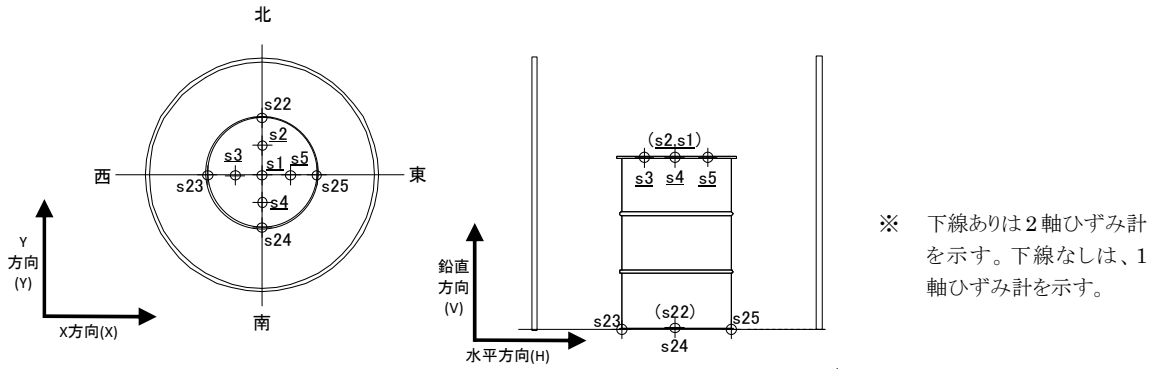


(3) H 級-3、第二輪帯部

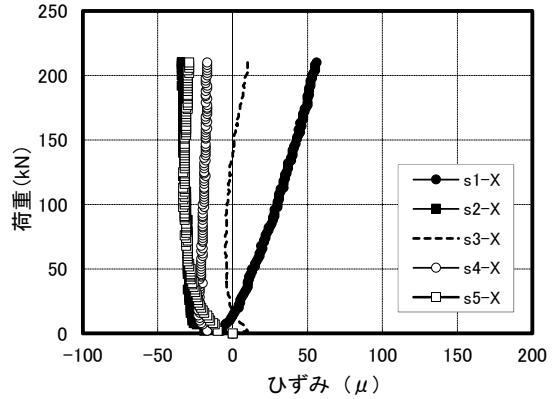


(4) H 級-4、第二輪帯部

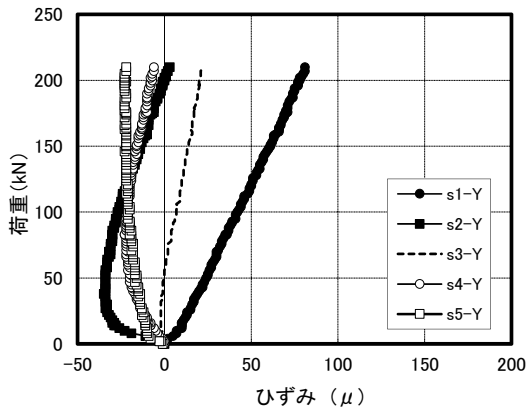
図 4-32 輪帯部の水平方向の変位量 (200 リットルドラム缶 H 級)



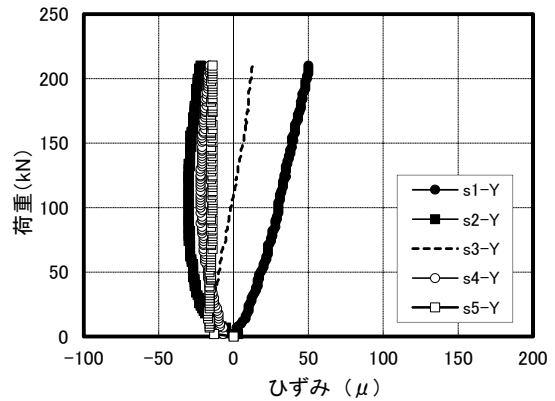
(1) H 級-3、蓋部 X 方向



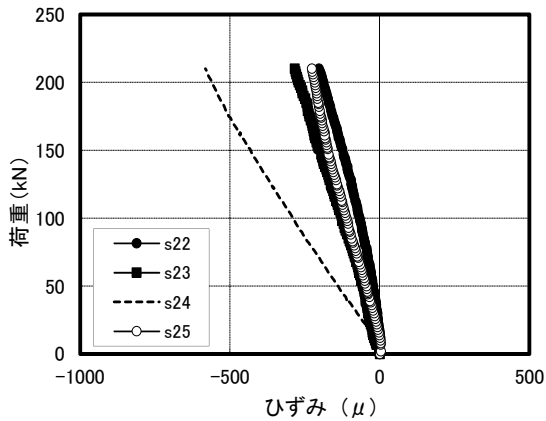
(2) H 級-4、蓋部 X 方向



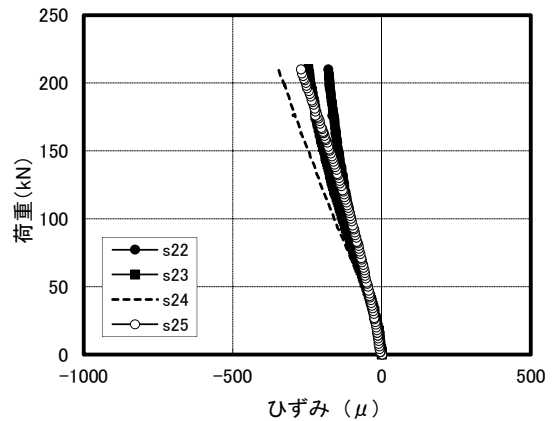
(3) H 級-3、蓋部 Y 方向



(4) H 級-4、蓋部 Y 方向

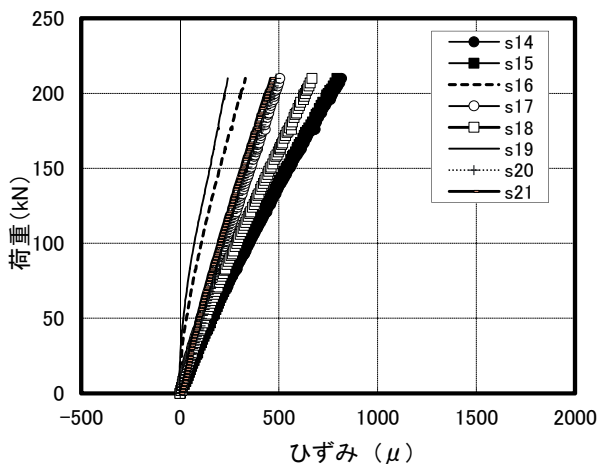
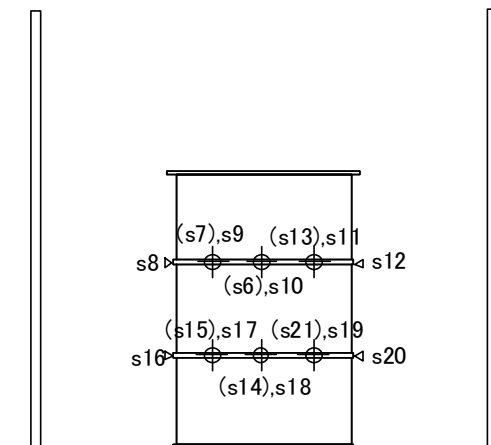
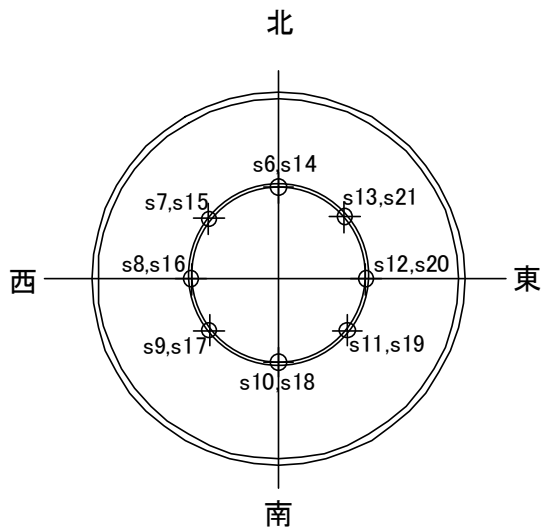


(5) H 級-3、チャイム部、鉛直方向

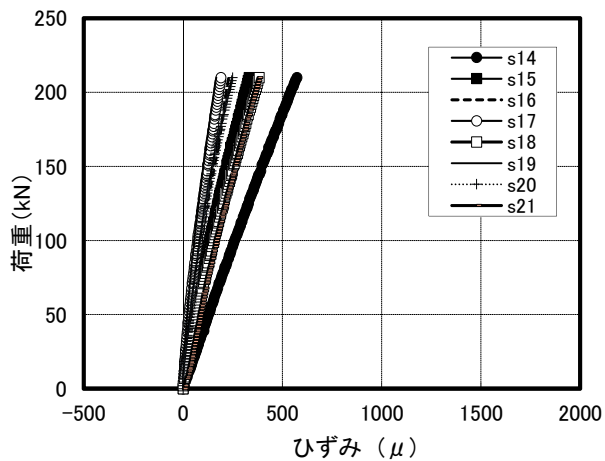


(6) H 級-4、チャイム部、鉛直方向

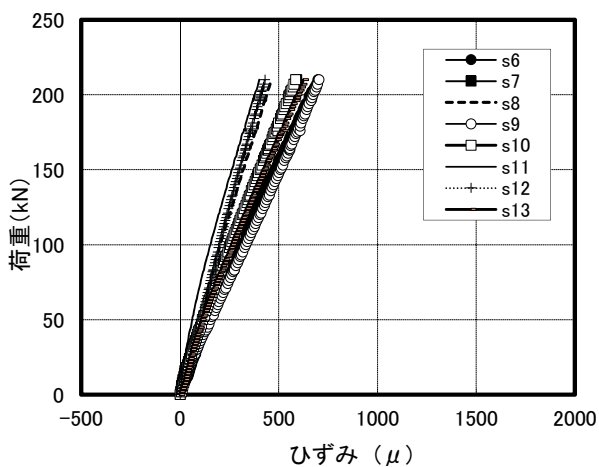
図 4-33 蓋部及びチャイムのひずみ量 (200 リットルドラム缶 H 級)



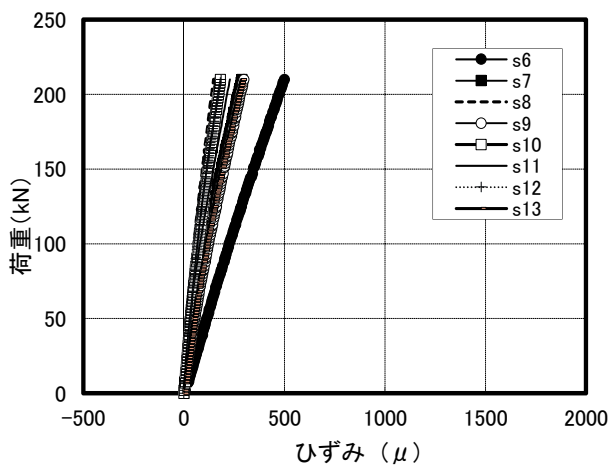
(1) H 級-3、第一輪帯部、鉛直方向



(2) H 級-4、第一輪帯部、鉛直方向

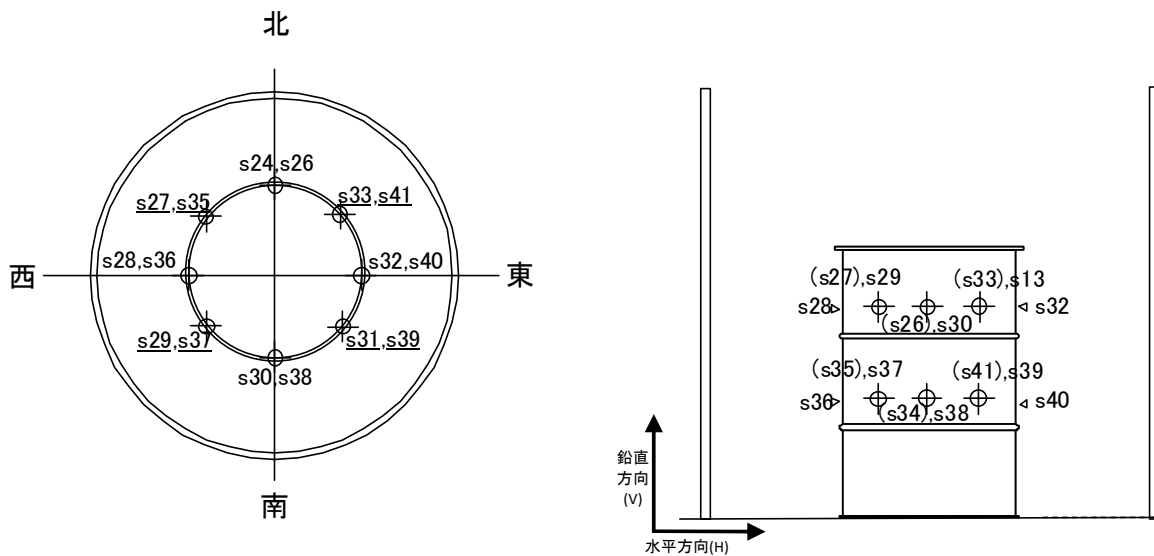


(3) H 級-3、第二輪帯部、鉛直方向

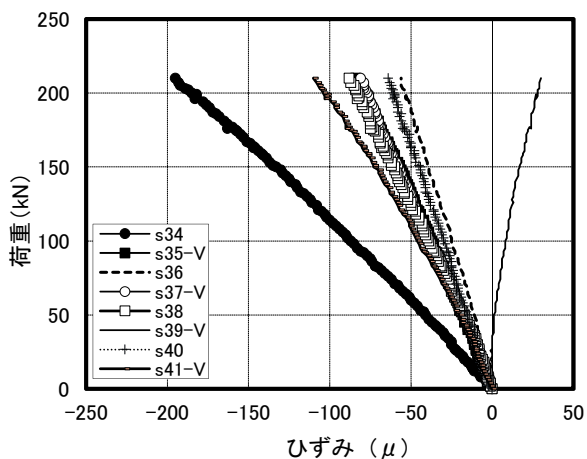


(4) H 級-4、第二輪帯部、鉛直方向

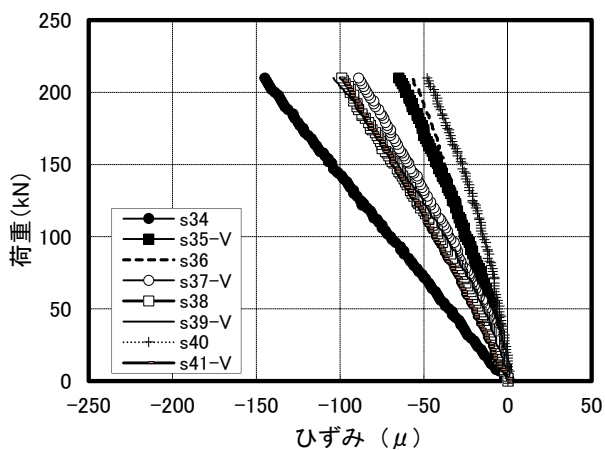
図 4-34 輪帯部のひずみ量 (200 リットルドラム缶 H 級)



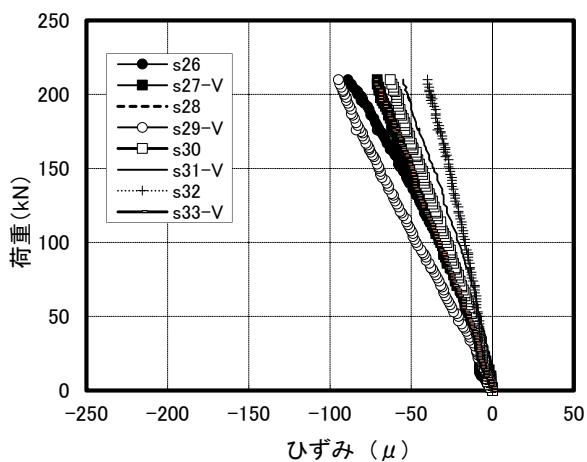
※ 下線ありは2軸ひずみ計を示す。下線なしは、1軸ひずみ計を示す。



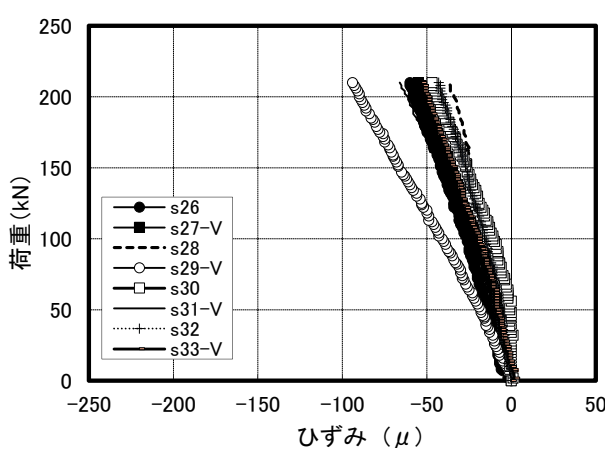
(1) H 級-3、第一輪帯上部、鉛直方向



(2) H 級-4、第一輪帯上部、鉛直方向



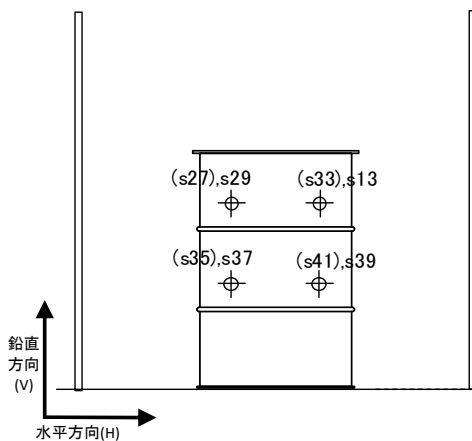
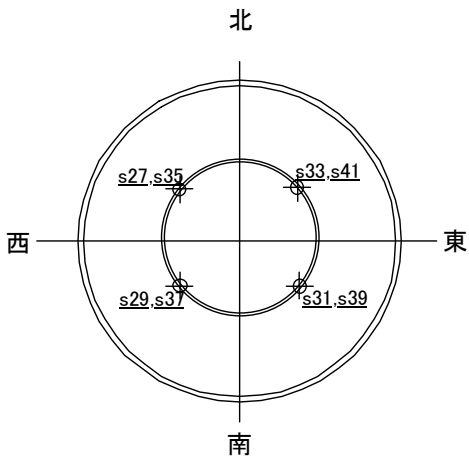
(3) H 級-3、第二輪帯上部、鉛直方向



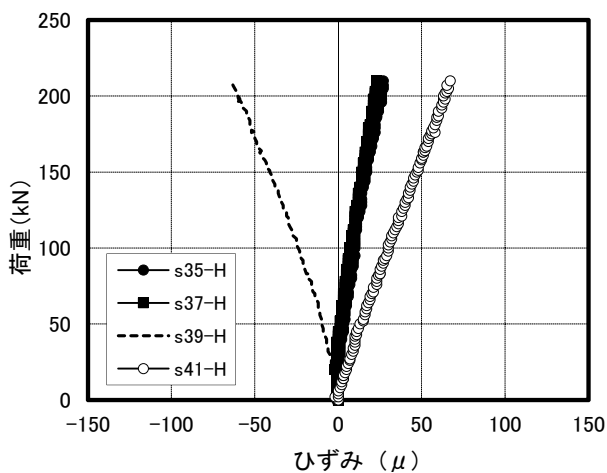
(4) H 級-4、第二輪帯上部、鉛直方向

図 4-35 輪帯上部の鉛直ひずみ量 (200 リットルドラム缶 H 級)

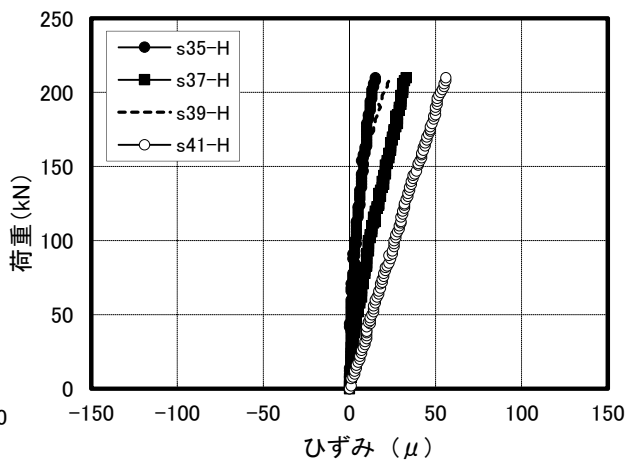




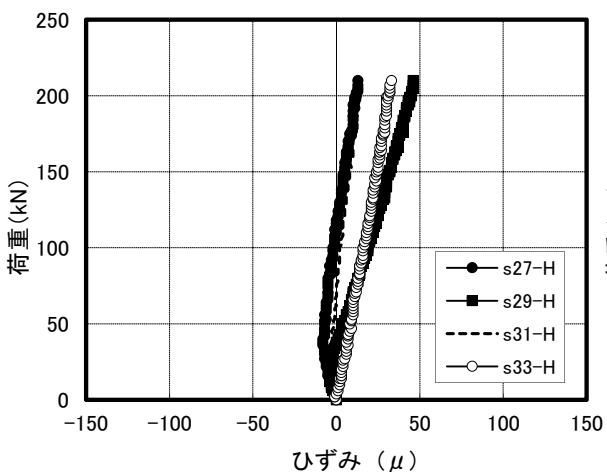
※ 下線ありは2軸ひずみ計を示す。



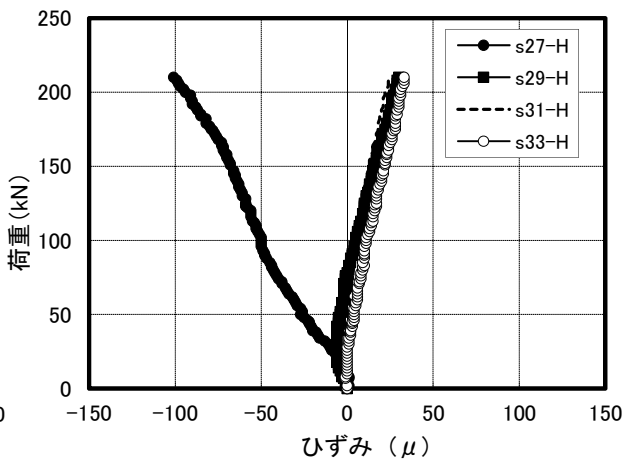
(1) H 級-3、第一輪帯上部、水平方向



(2) H 級-4、第一輪帯上部、水平方向

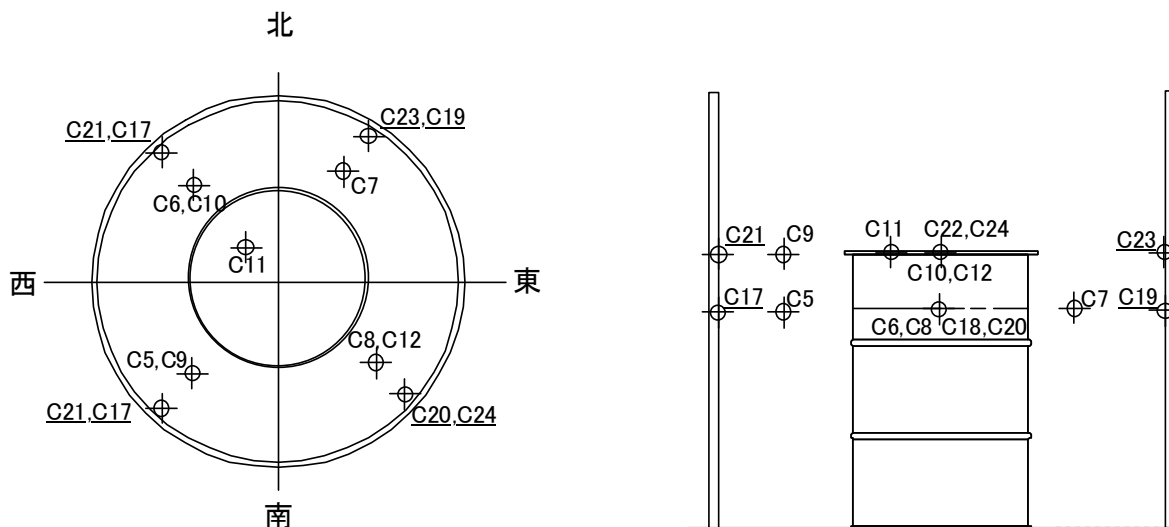


(3) H 級-3、第二輪帯上部、水平方向

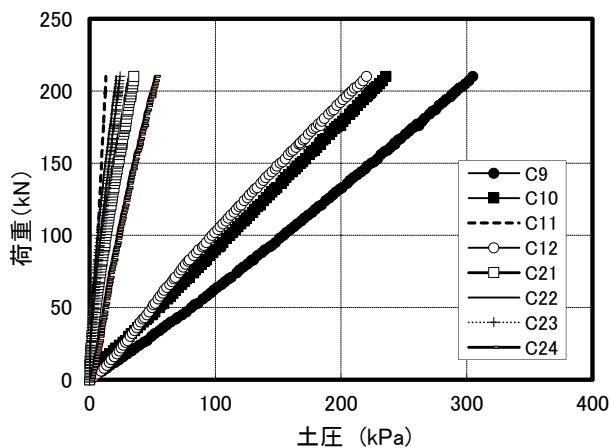


(4) H 級-4、第二輪帯上部、水平方向

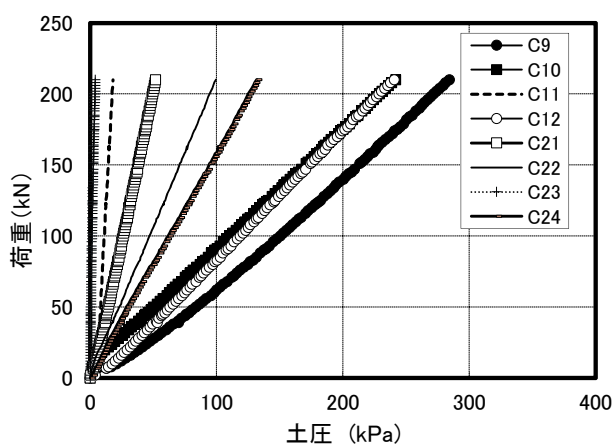
図 4-36 輪帯上部の水平ひずみ量 (200 リットルドラム缶 H 級)



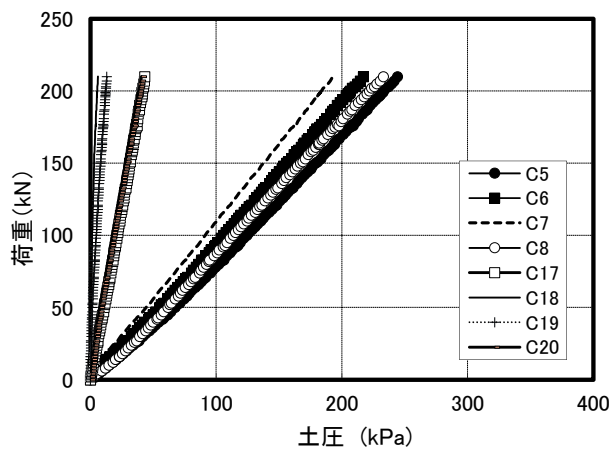
※ 下線ありは水平方向の圧力計を示す。下線なしは、鉛直方向の圧力計を示す。



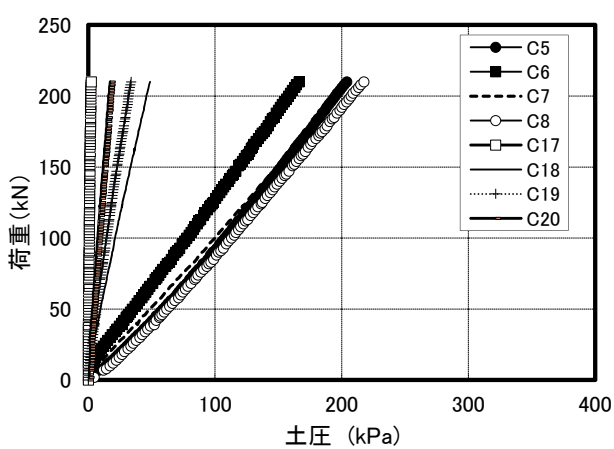
(1) H級-3、蓋部高さ



(2) H級-4、蓋部高さ

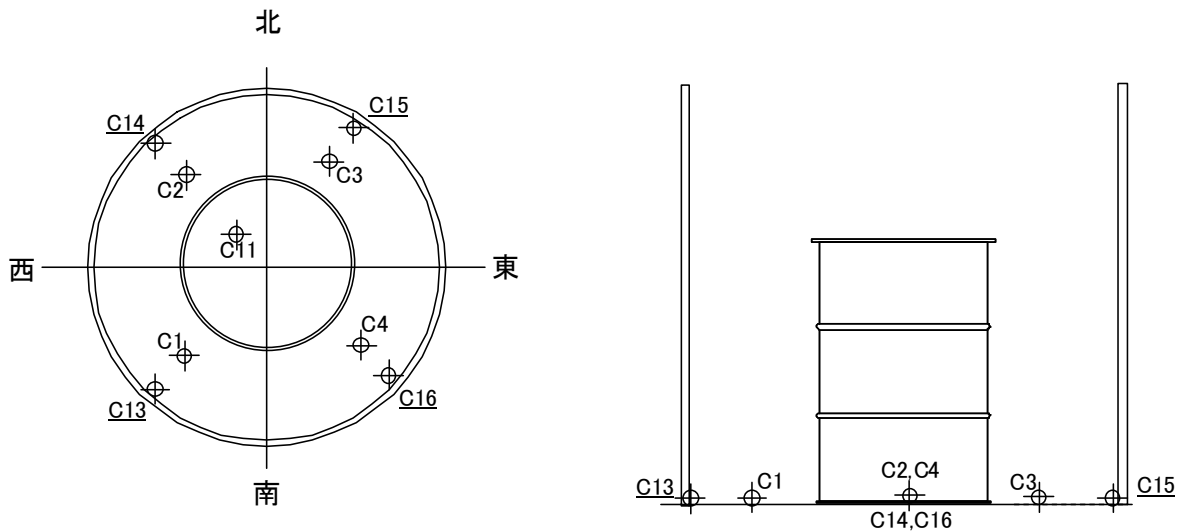


(3) H級-3、固型化部高さ

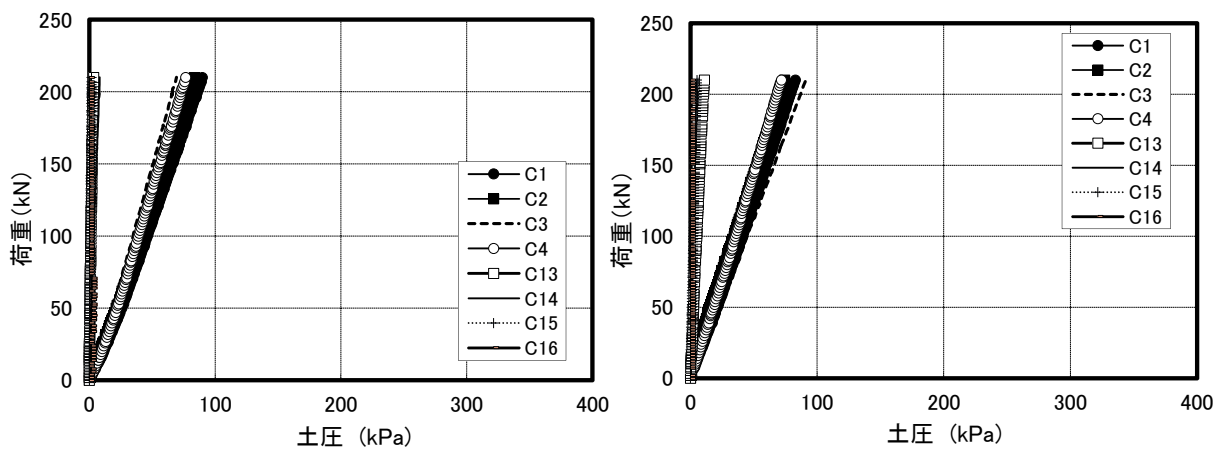


(4) H級-4、固型下部高さ

図 4-37 地盤材料内の土圧 (200 リットルドラム缶 H 級)



下線ありは水平方向の圧力計を示す。下線なしは、鉛直方向の圧力計を示す。



(1) H 級-3、固定アーム部

(2) H 級-4、固定アーム部

図 4-38 地盤材料底部の土圧 (200 リットルドラム缶 H 級)

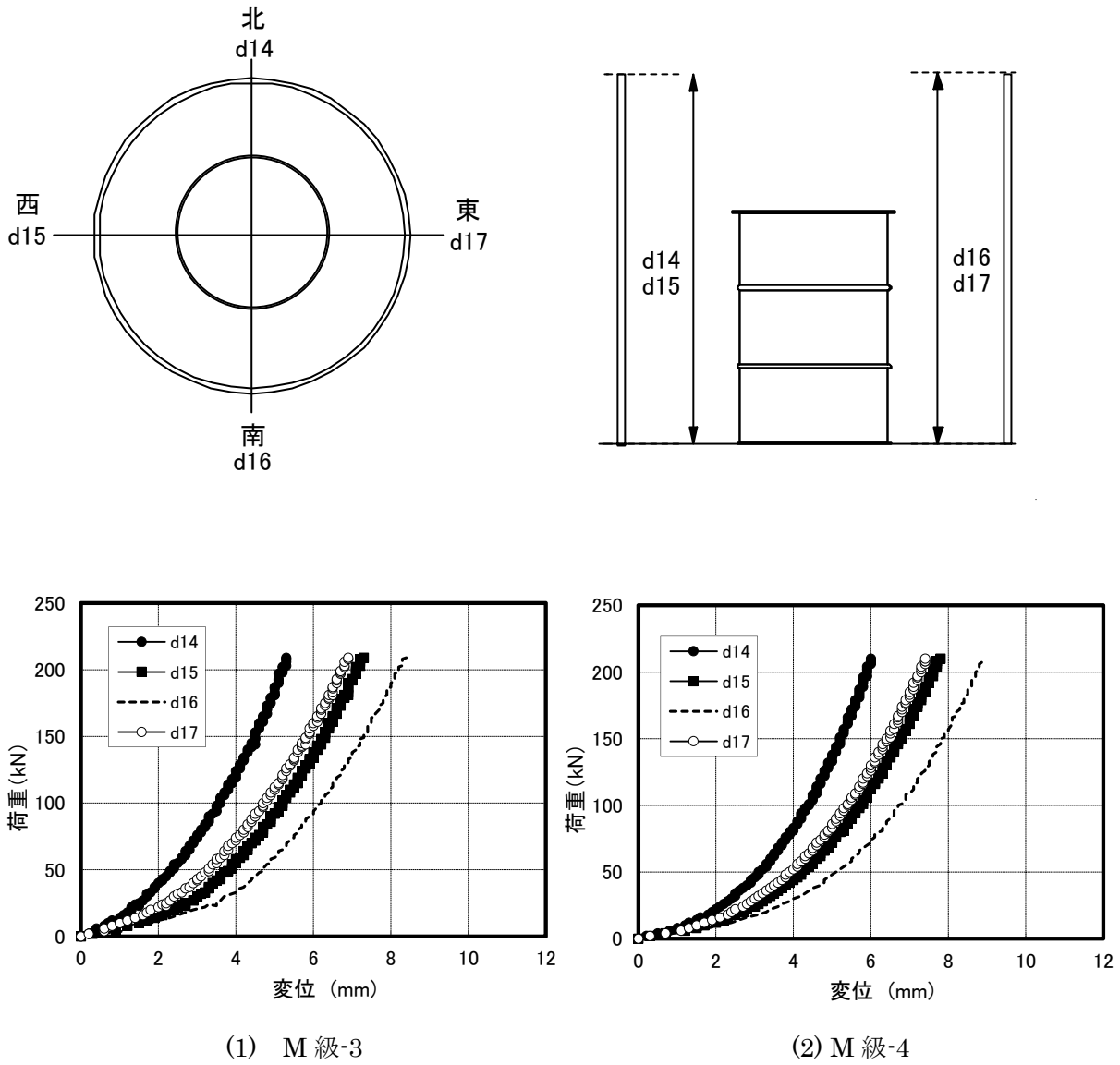


図 4-39 地盤材料全体の変位量 (200 リットルドラム缶 M 級)

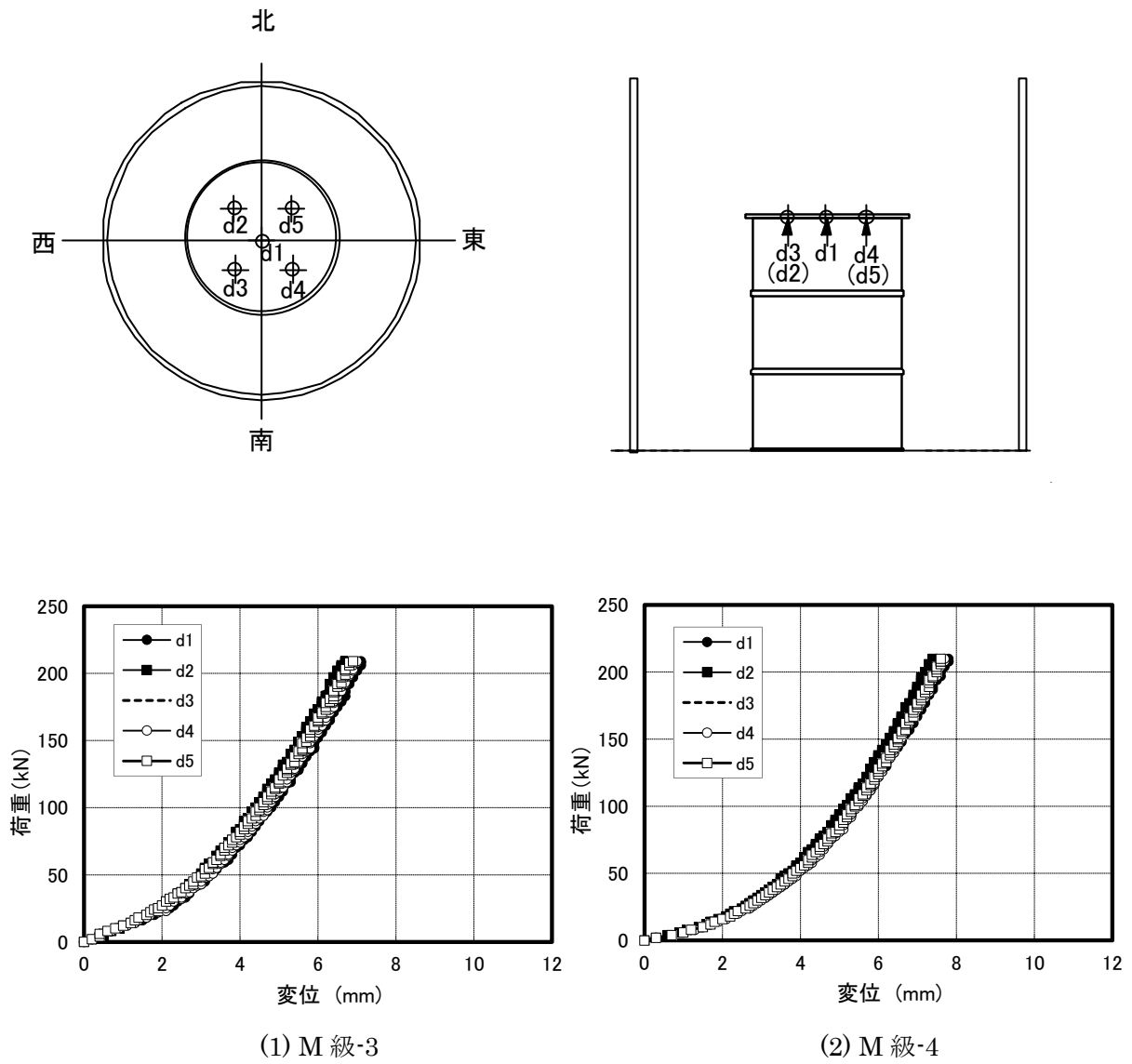


図 4-40 蓋部の変位量 (200 リットルドラム缶 M 級)

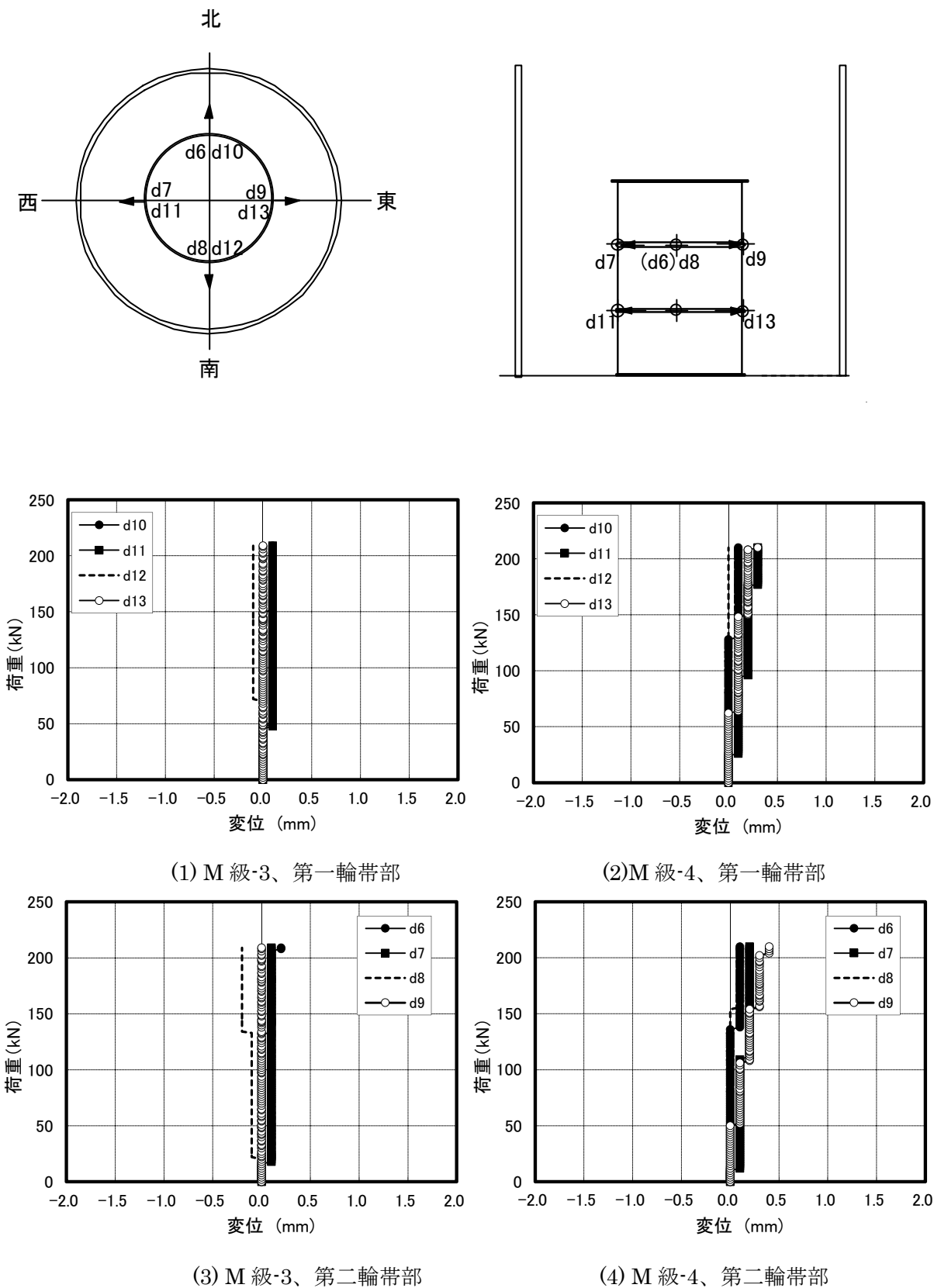


図 4-41 輪帯部の水平方向の変位量 (200 リットルドラム缶 M 級)

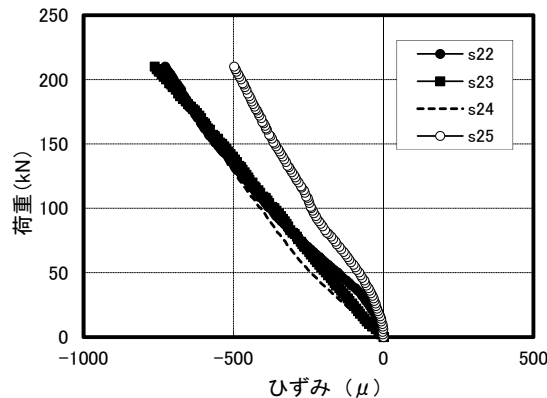
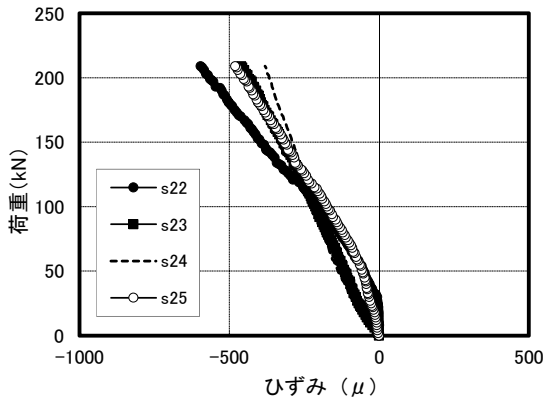
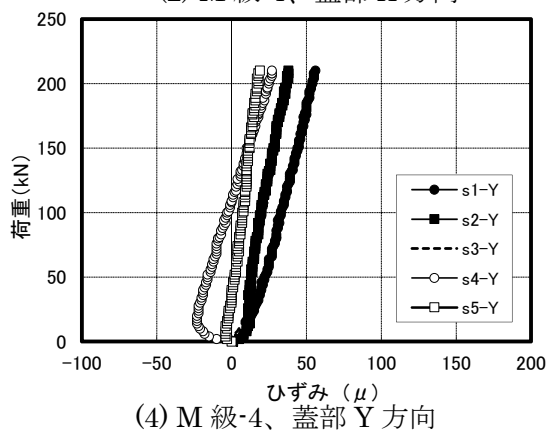
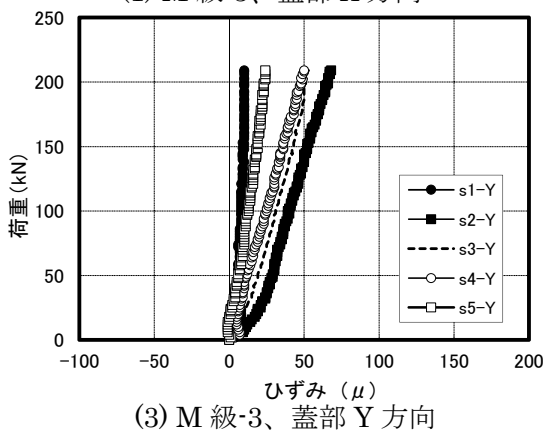
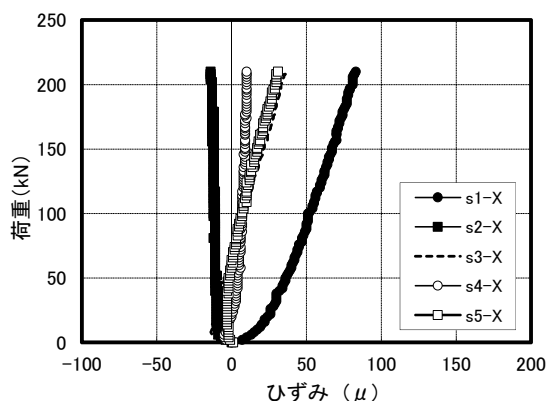
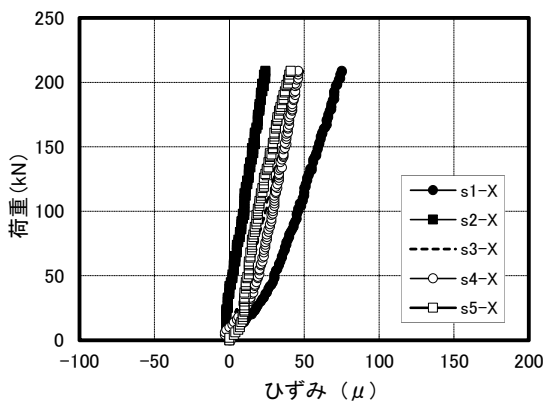
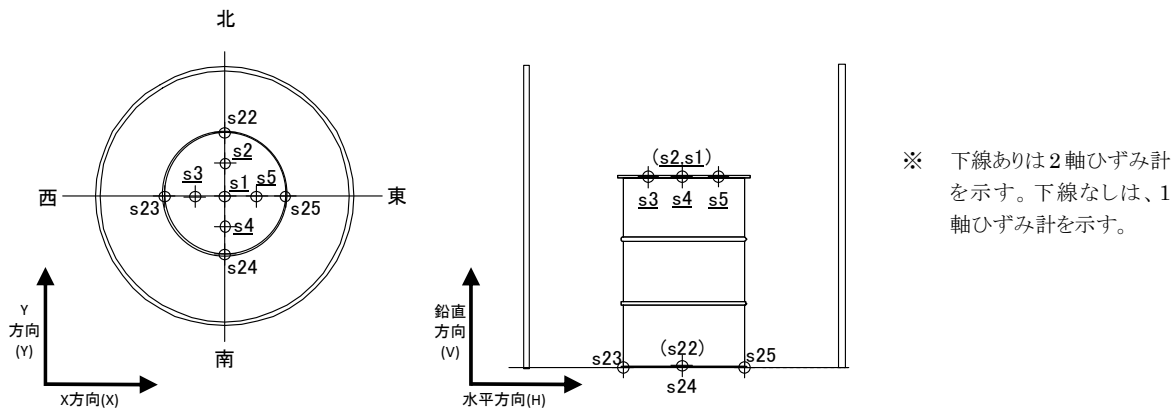
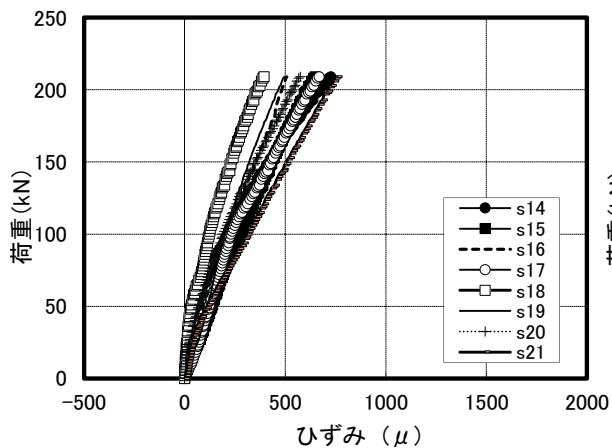
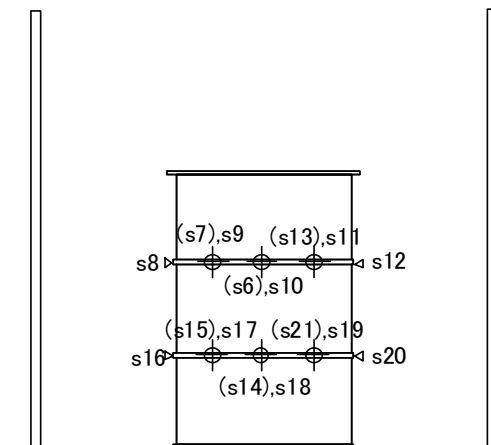
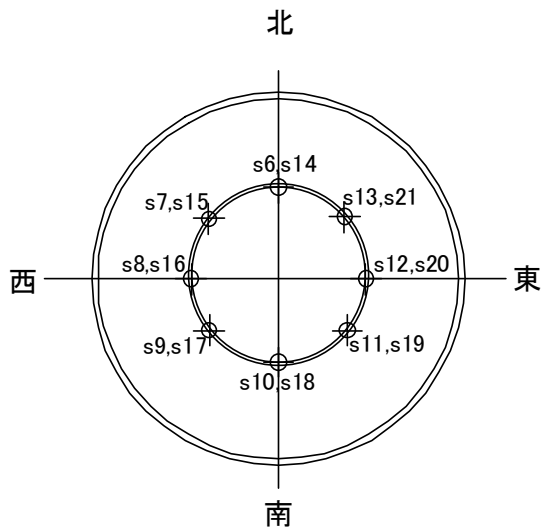
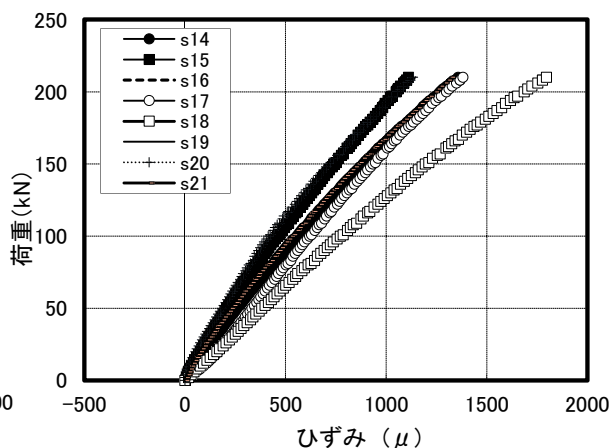


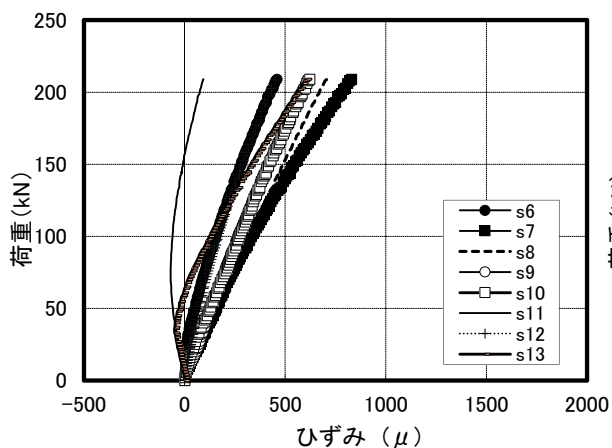
図 4-42 蓋部及びチャイムのひずみ量 (200 リットルドラム缶 M 級)



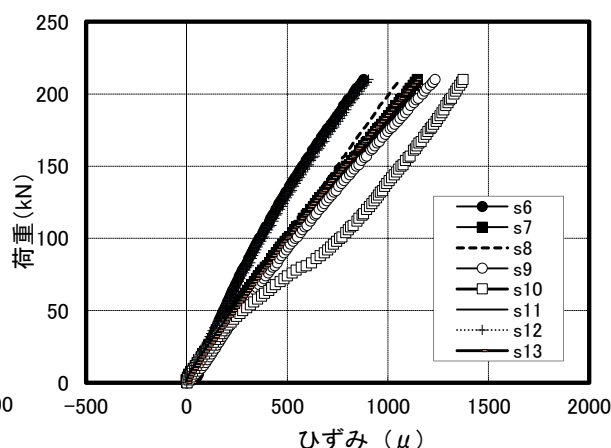
(1) M 級-3、第一輪帯部、鉛直方向



(2) M 級-4、第一輪帯部、鉛直方向



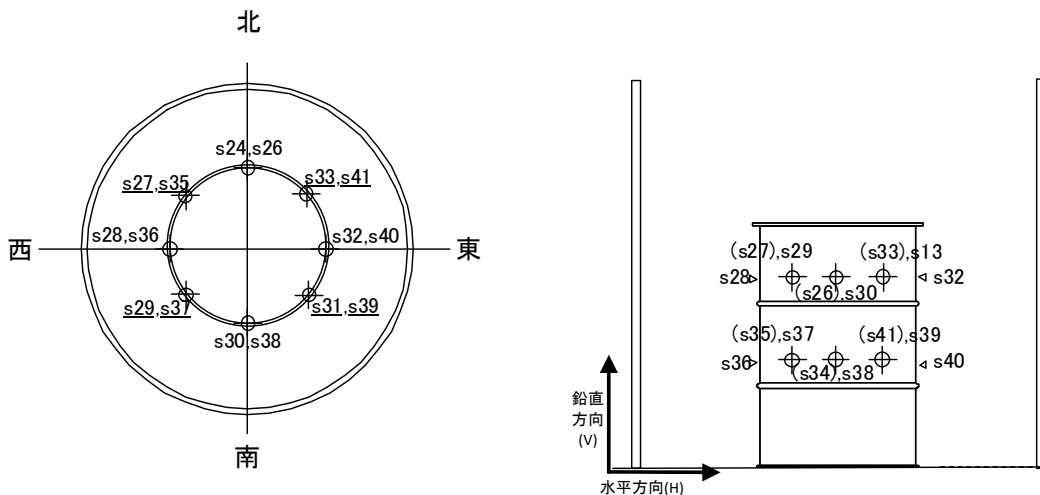
(3) M 級-3、第二輪帯部、鉛直方向



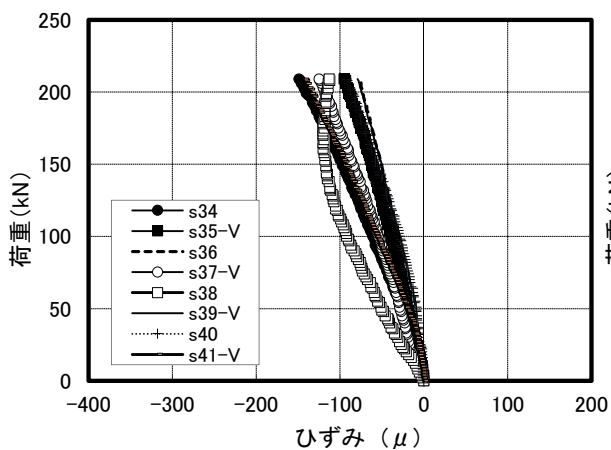
(4) M 級-4、第二輪帯部、鉛直方向

図 4-43 輪帯部のひずみ量 (200 リットルドラム缶 M 級)

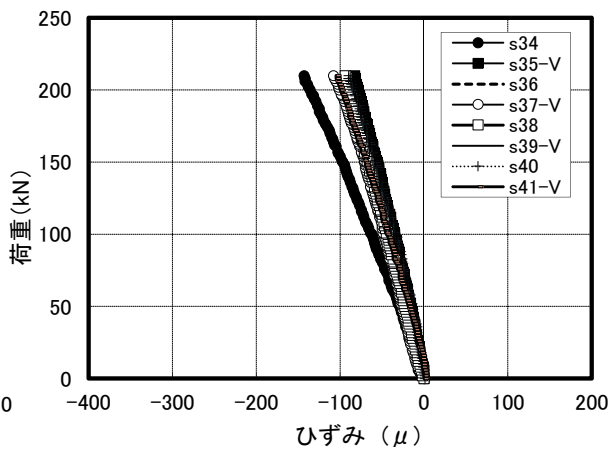




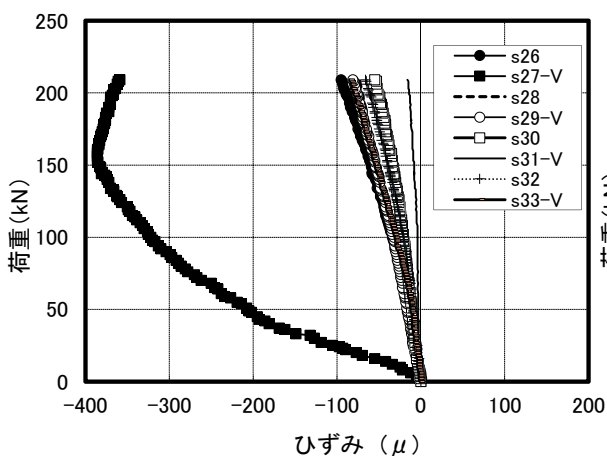
※ 下線ありは 2 軸ひずみ計を示す。下線なしは、1 軸ひずみ計を示す。



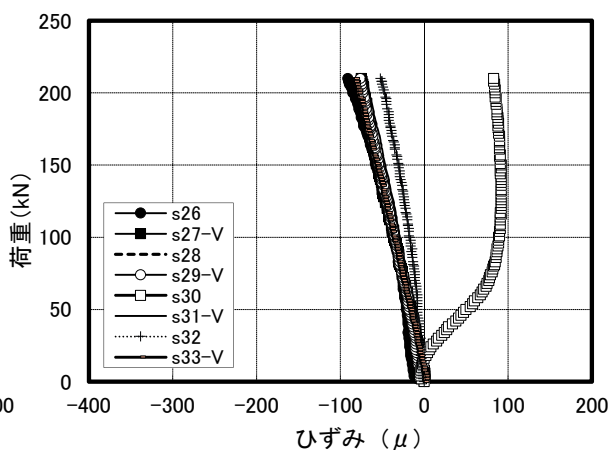
(1) M 級-3、第一輪帯上部、鉛直方向



(2) M 級-4、第一輪帯上部、鉛直方向

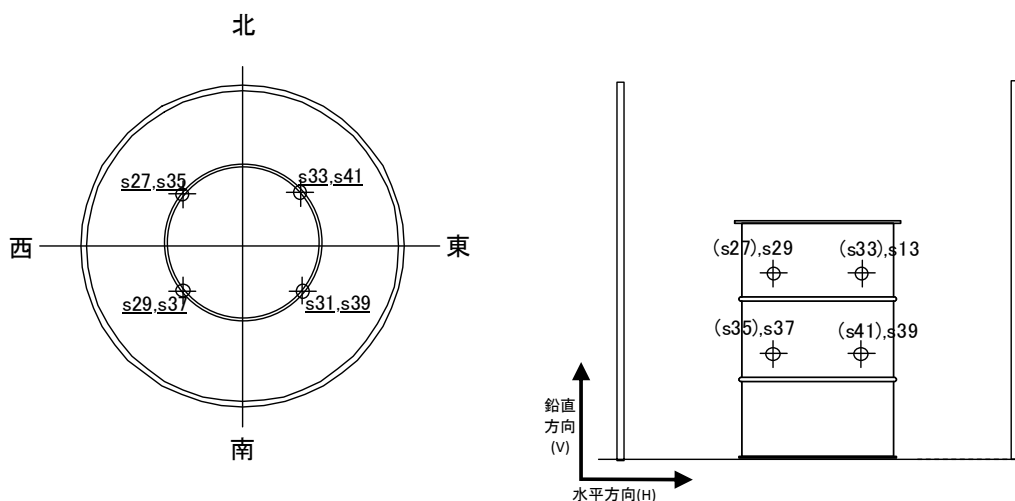


(3) M 級-3、第二輪帯上部、鉛直方向

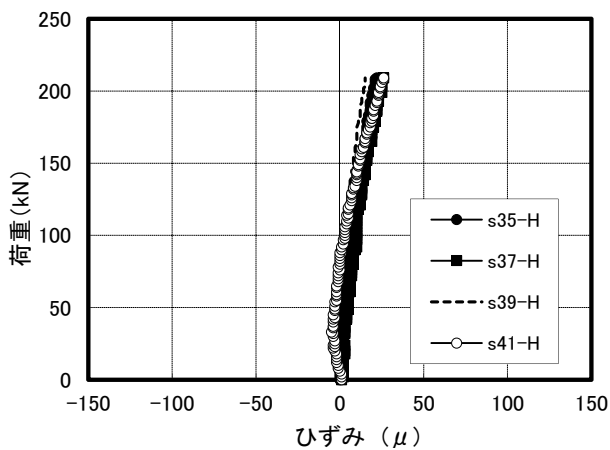


(4) M 級-4、第二輪帯上部、鉛直方向

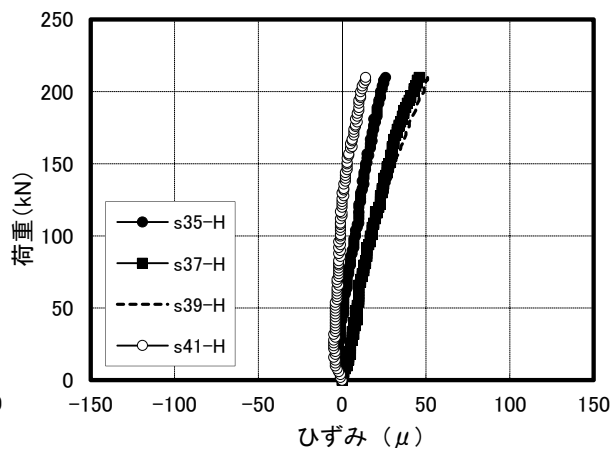
図 4-44 輪帯上部の鉛直方向のひずみ量 (200 リットルドラム缶 M 級)



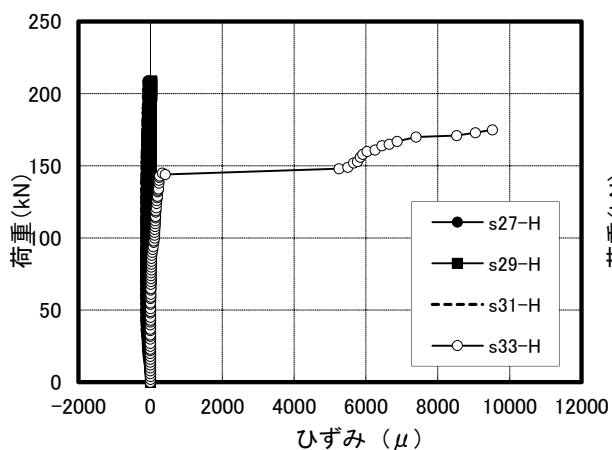
下線ありは2軸ひずみ計を示す。



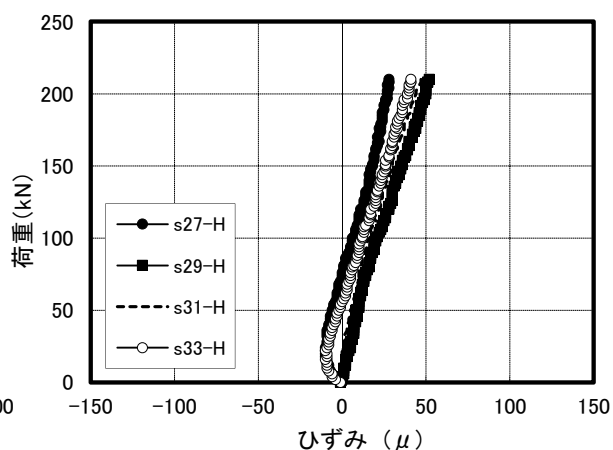
(1) M 級-3、第一輪帯上部、水平方向



(2) M 級-4、第一輪帯上部、水平方向

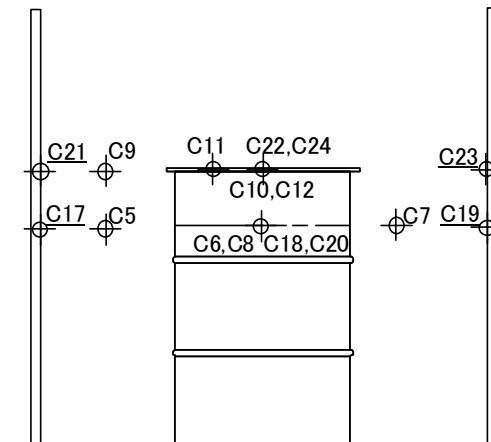
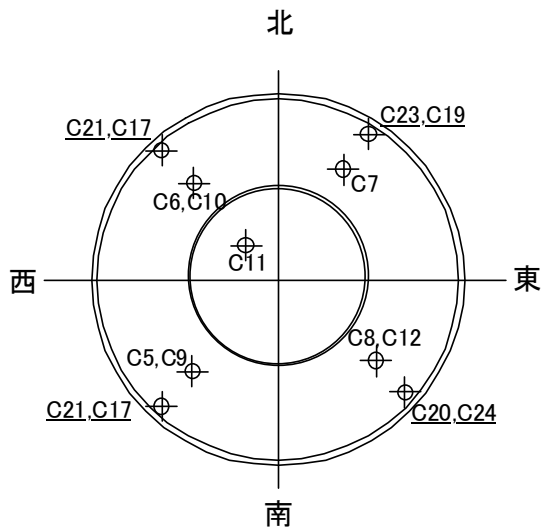


(3) M 級-3、第二輪帯上部、水平方向

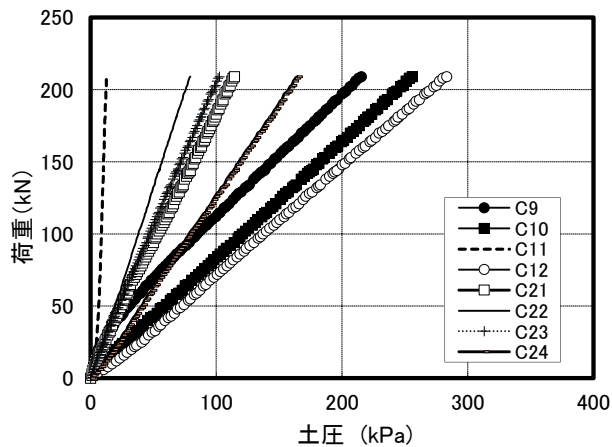


(4) M 級-4、第二輪帯上部、水平方向

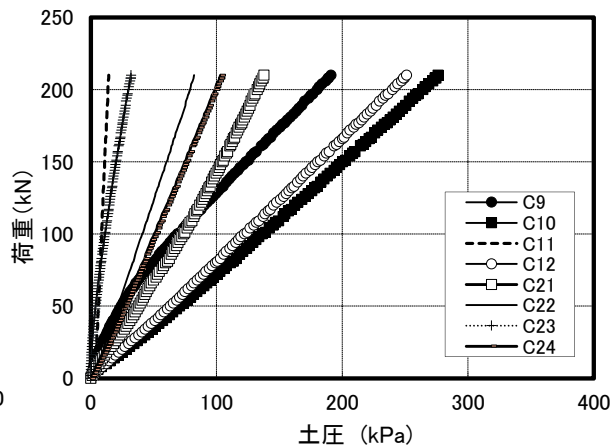
図 4-45 輪帯上部の水平方向のひずみ量 (200 リットルドラム缶 M 級)



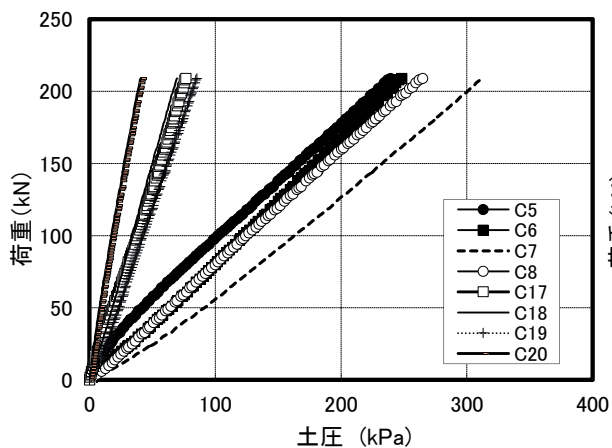
※ 下線ありは2軸ひずみ計を示す。下線なしは、1軸ひずみ計を示す。



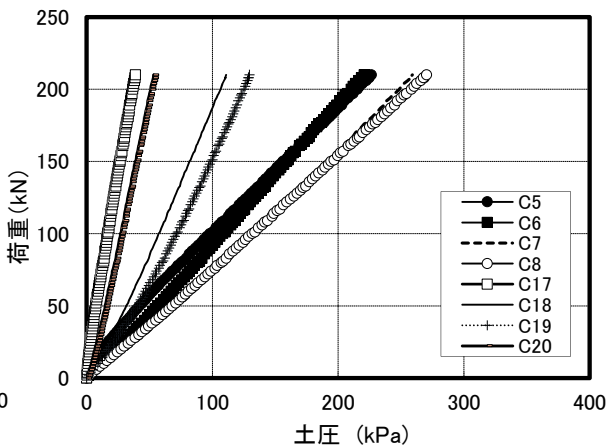
(1) M 級-3 蓋部高さ



(2) M 級-4 蓋部高さ

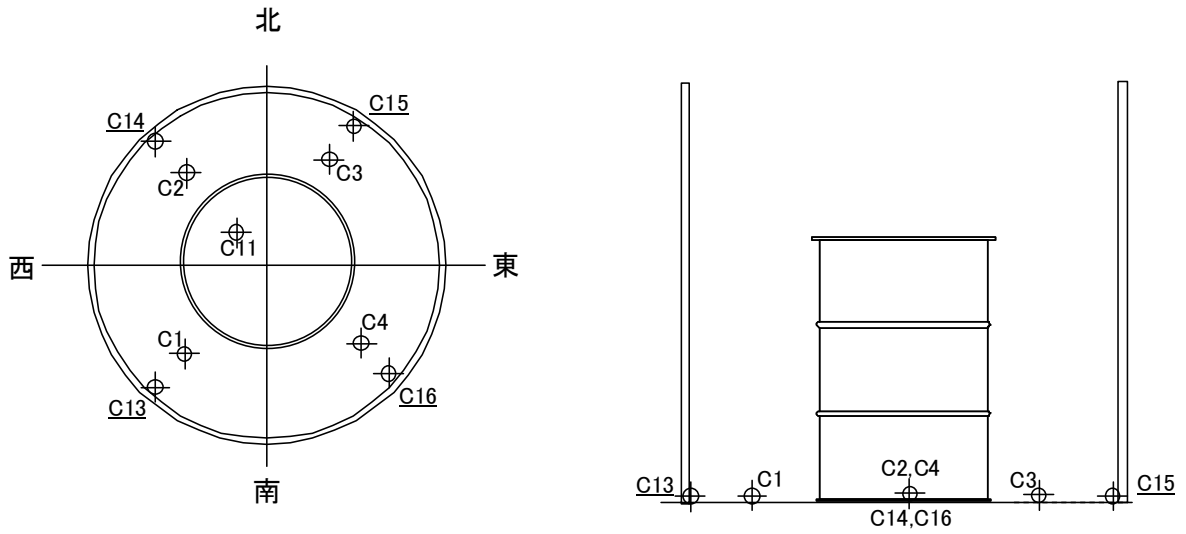


(3) M 級-3 固化部高さ

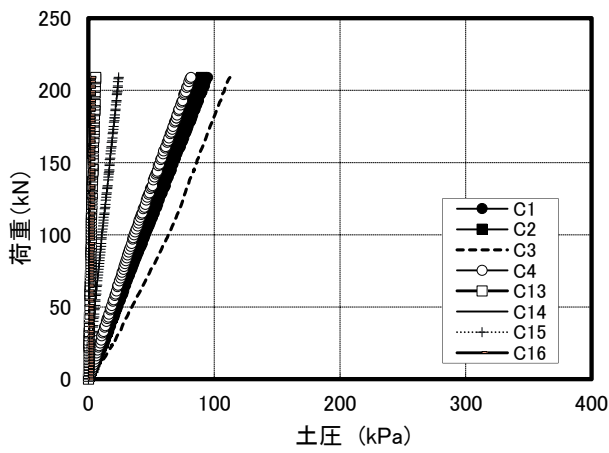


(4) M 級-4 固化部高さ

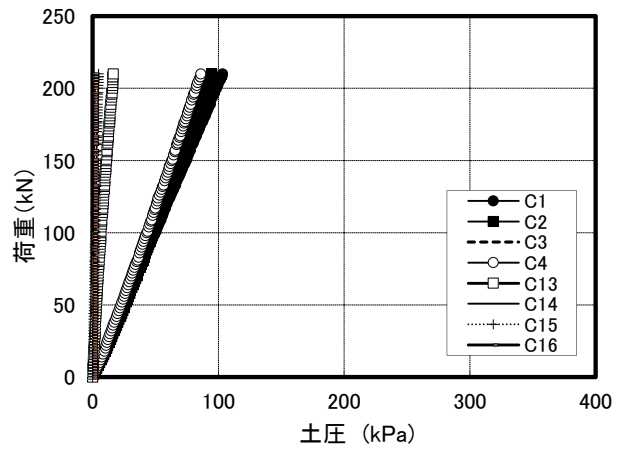
図 4-46 地盤材料内の土圧 (200 リットルドラム缶 M 級)



※下線ありは水平方向の圧力計を示す。下線なしは、鉛直方向の圧力計を示す。



(1) M 級・3 固定アーム部



(2) M 級・4 固定アーム部

図 4-47 地盤材料底部の土圧 (200 リットルドラム缶 M 級)

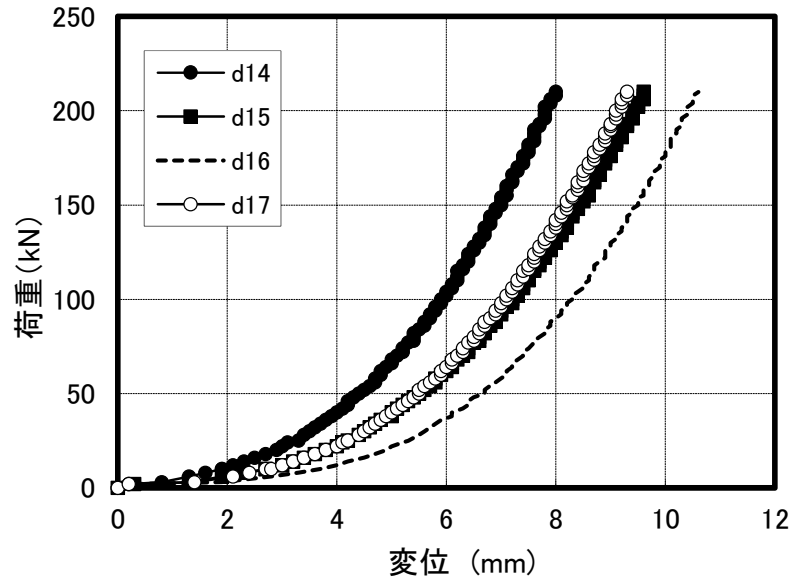
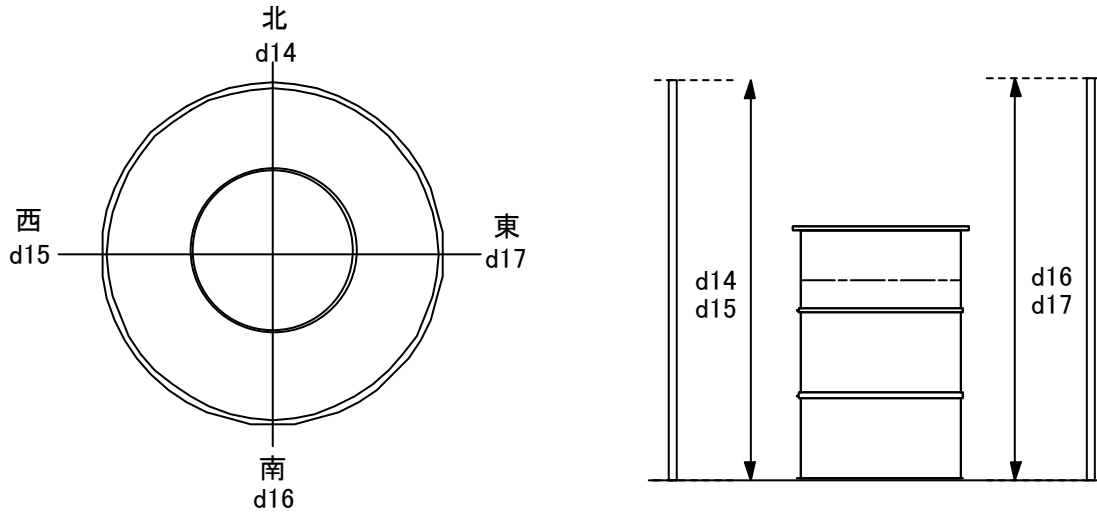


図 4-48 地盤材料全体の鉛直方向の変位量 (試験体 30)

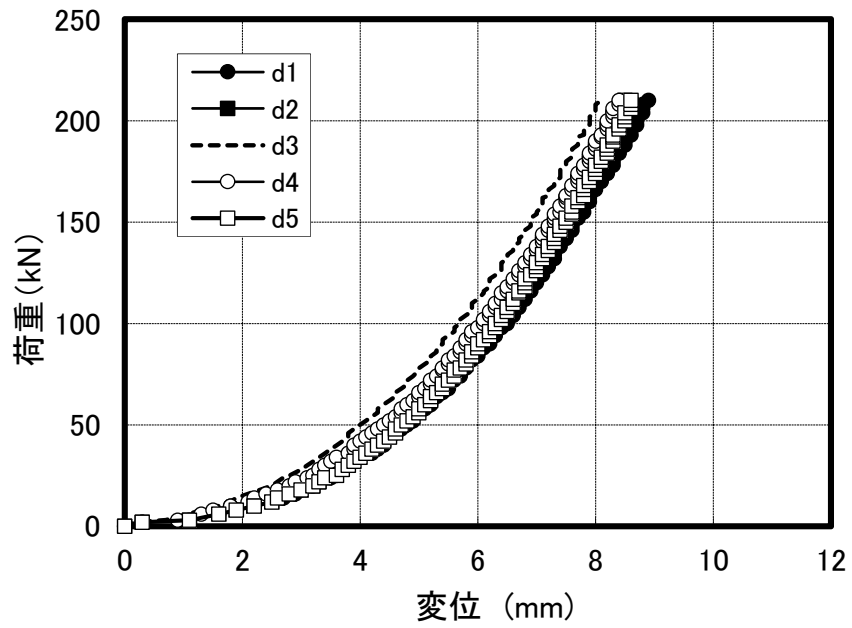
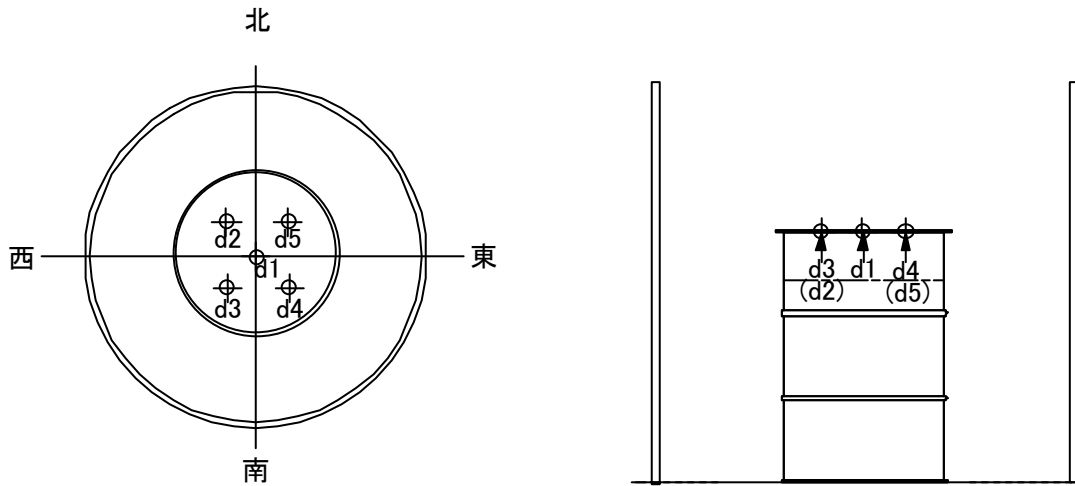


図 4-49 蓋部の変位量 (試験体 30)

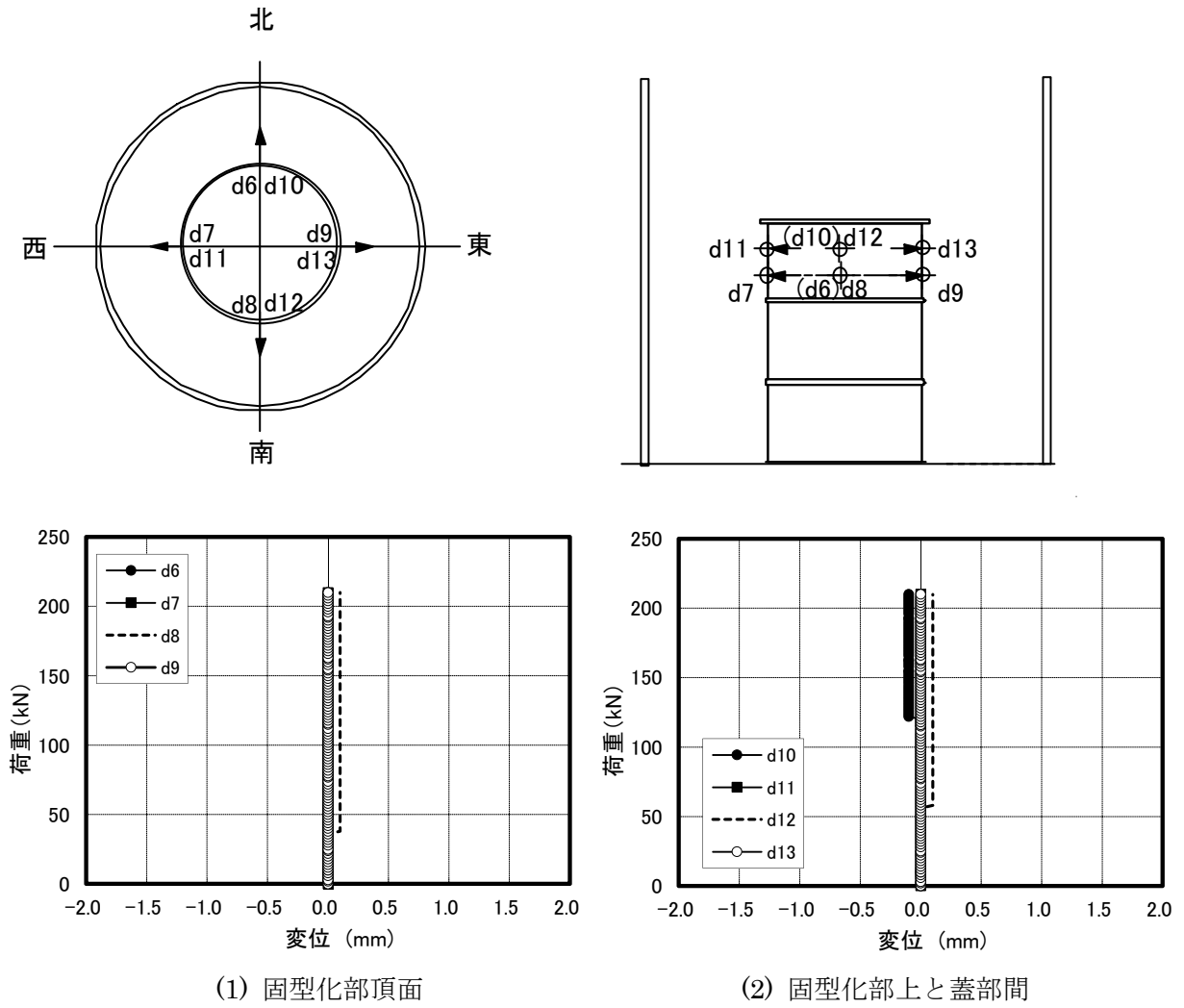
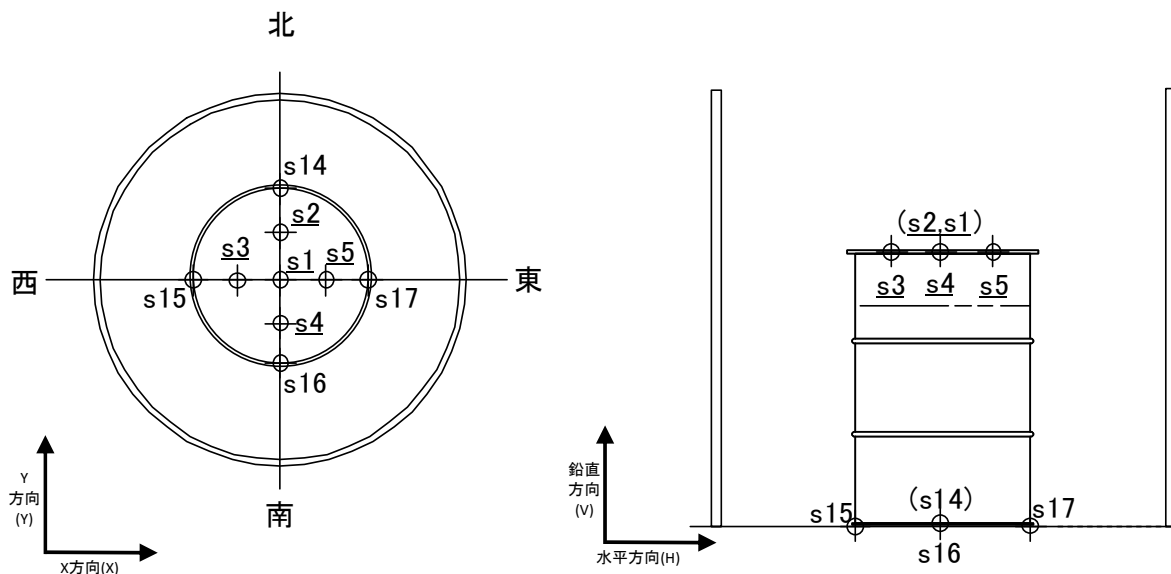
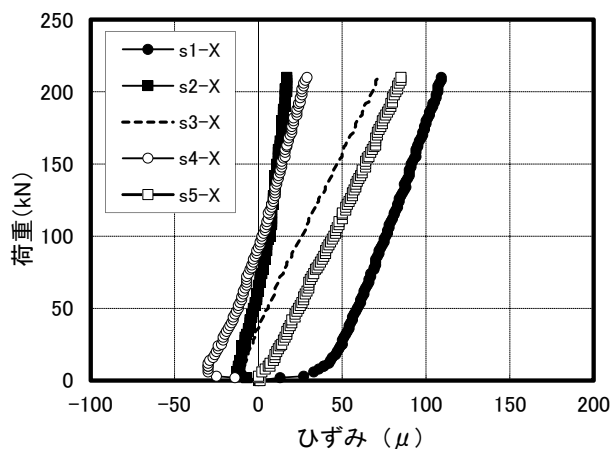


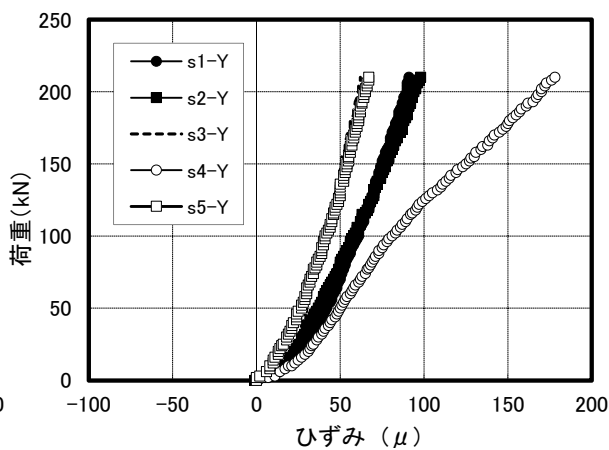
図 4-50 固型化部頂面及び上部空げき部の水平方向の変位量（試験体 30）



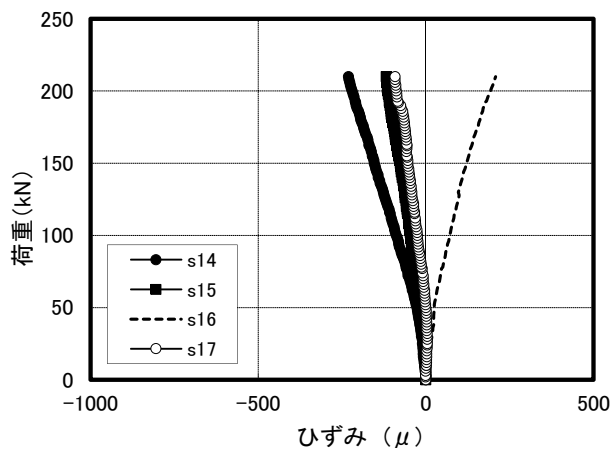
※下線ありは2軸ひずみ計を示す。下線なしは、1軸ひずみ計を示す。



(1) 蓋部 X 方向



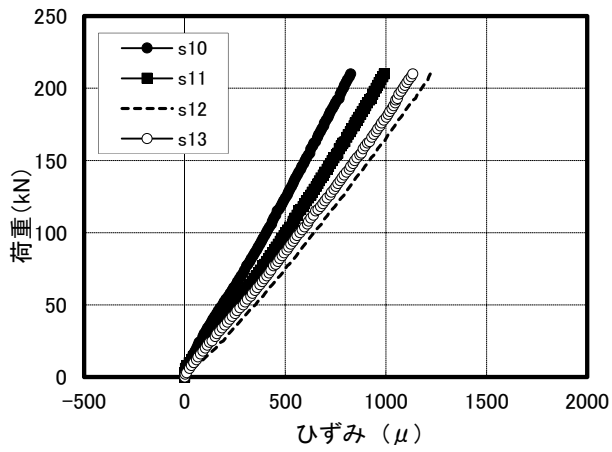
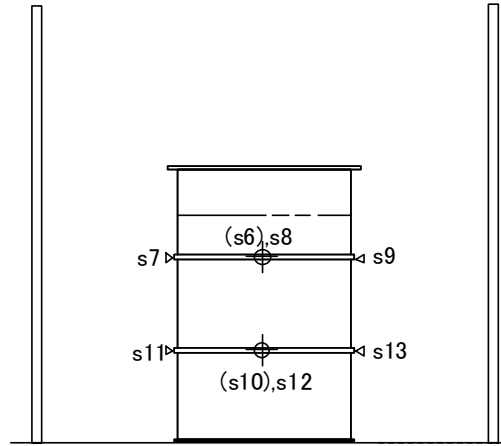
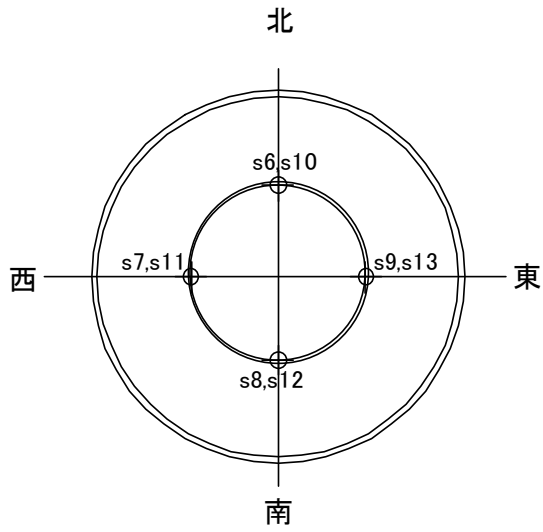
(2) 蓋部 Y 方向



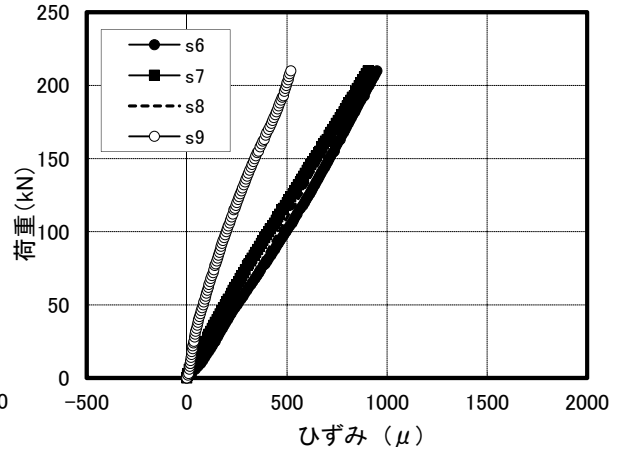
(3) チャイム部鉛直方向

図 4-51 蓋部及びチャイムのひずみ量 (試験体 30)



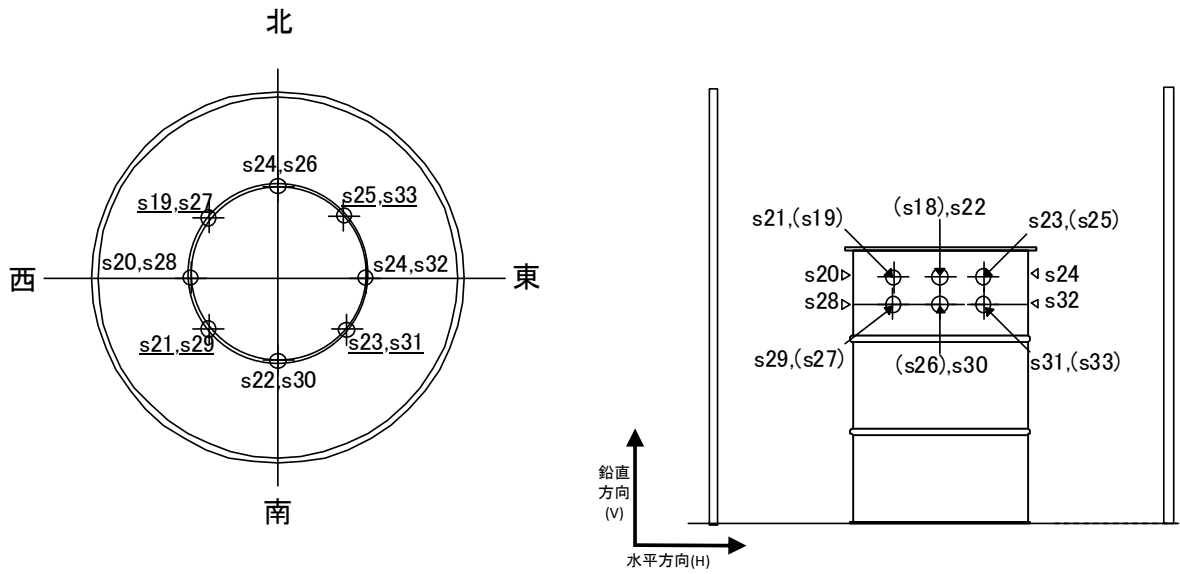


(1) 第一輪帯部、鉛直方向

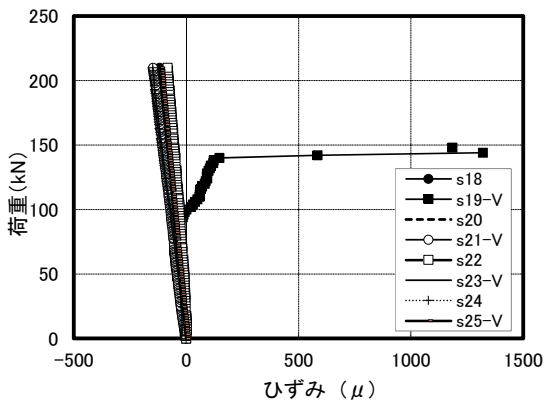


(2) 第二輪帯部、鉛直方向

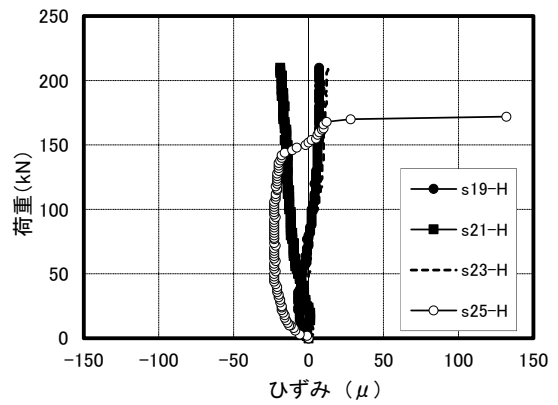
図 4-52 輪帯部のひずみ量 (試験体 30)



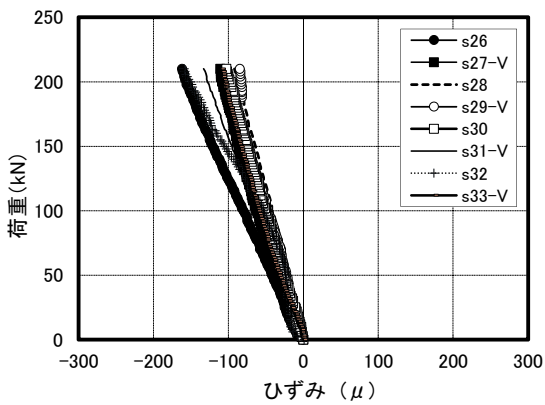
※下線ありは2軸ひずみ計を示す。下線なしは、1軸ひずみ計を示す。



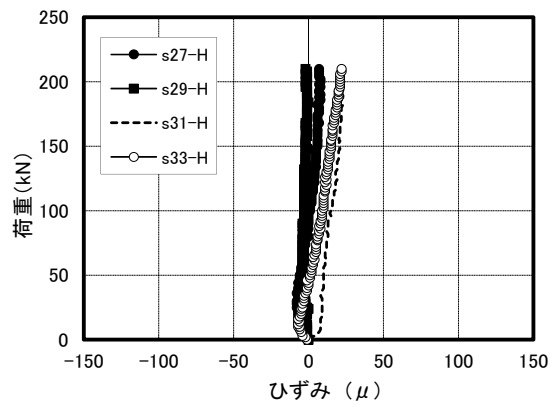
(1) 固型化部上、鉛直方向



(2) 固型化部上、水平方向



(3) 固型化部頂き面、鉛直方向



(4) 固型化部頂面、水平方向

図 4-53 上部空げき部のひずみ量 (試験体 30)

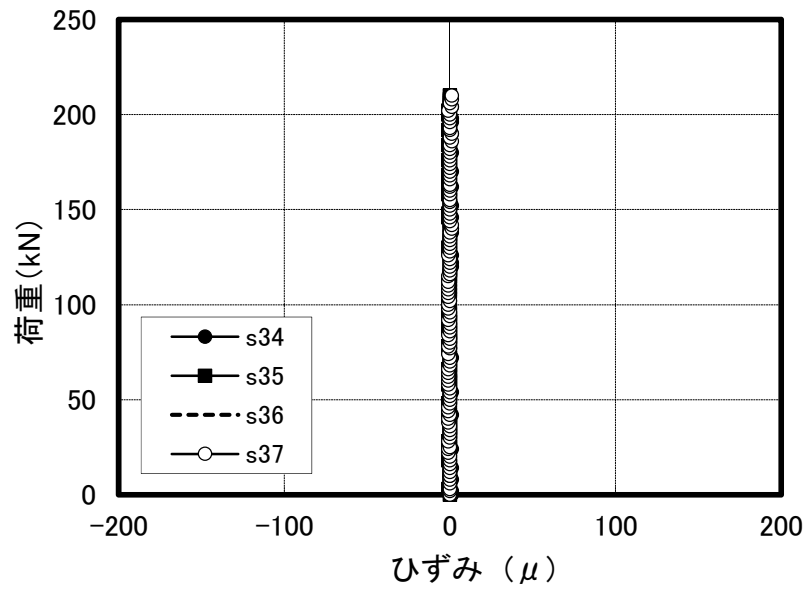
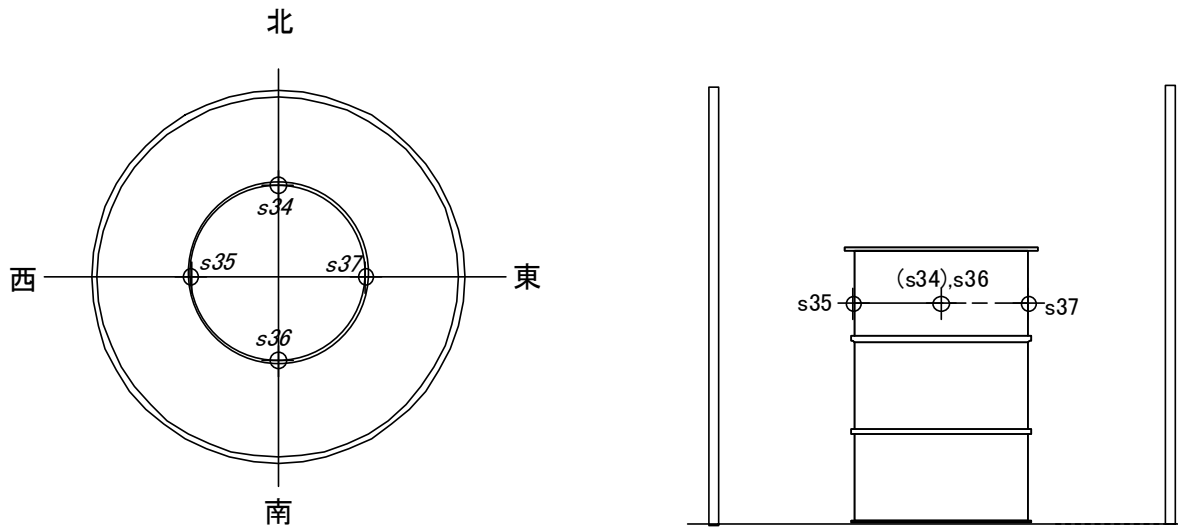
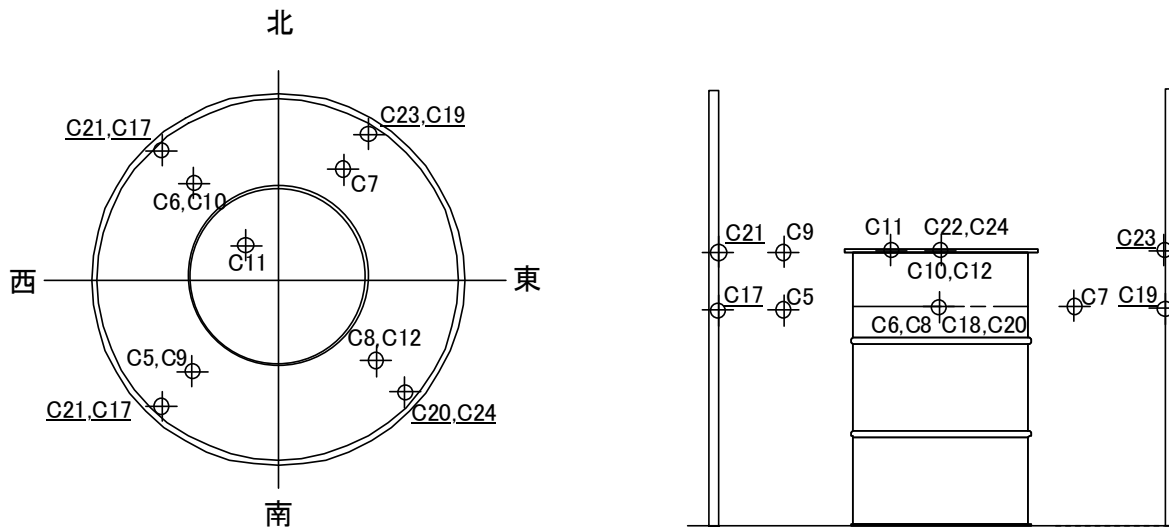


図 4-54 固型化部頂面のひずみ量 (試験体 30)



※下線ありは水平方向の圧力計を示す。下線なしは、鉛直方向の圧力計を示す。

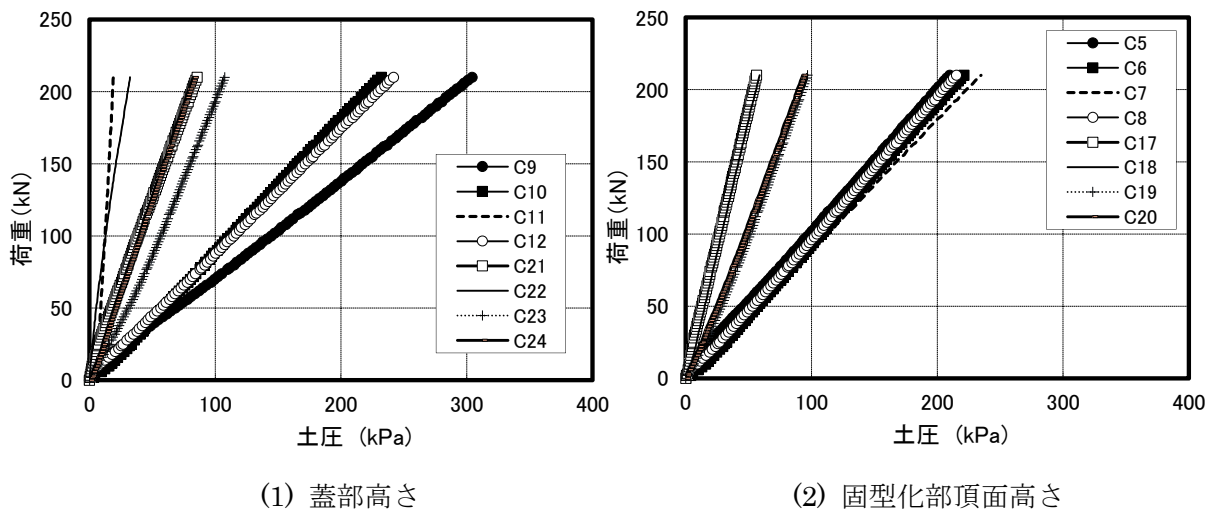
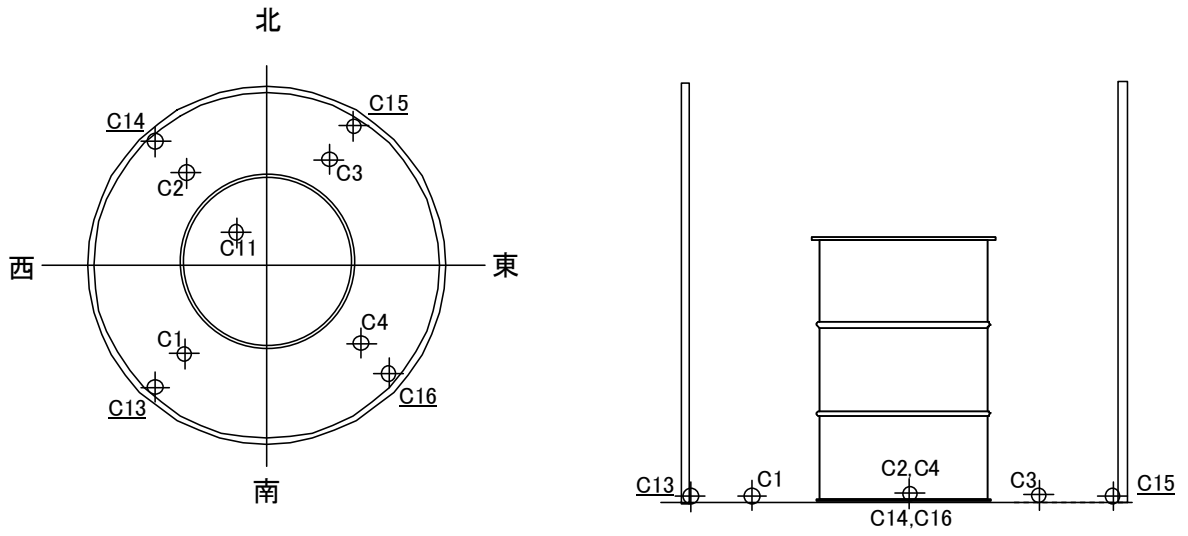


図 4-55 地盤材料内の土圧 (試験体 30)



下線ありは水平方向の圧力計を示す。下線なしは、鉛直方向の圧力計を示す。

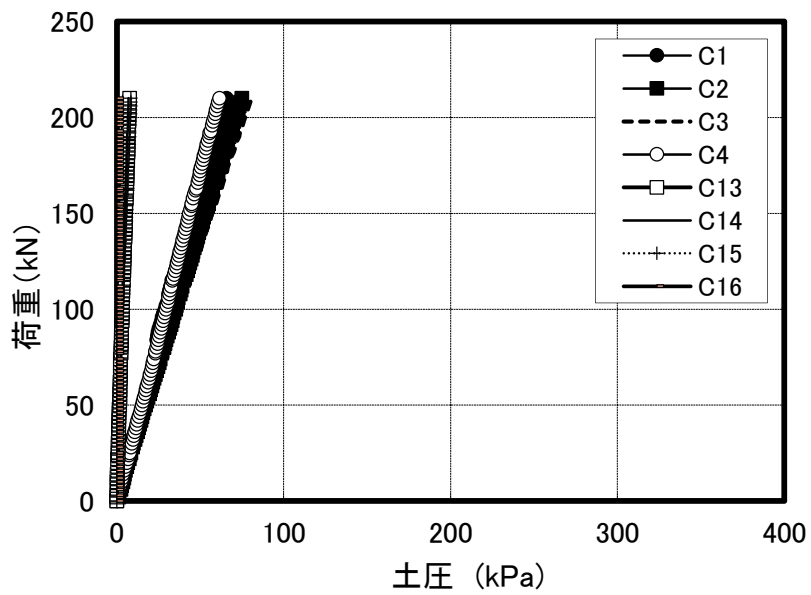


図 4-56 地盤材料底部の土圧 (試験体 30)

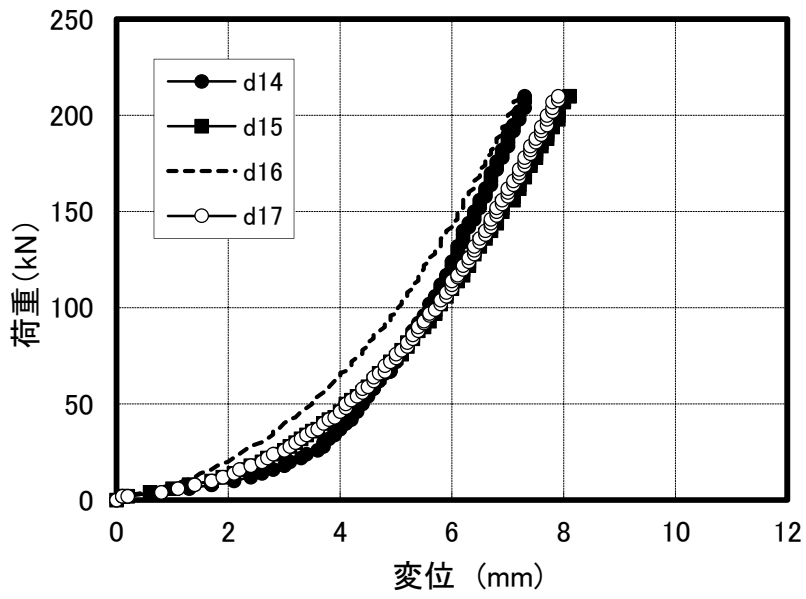
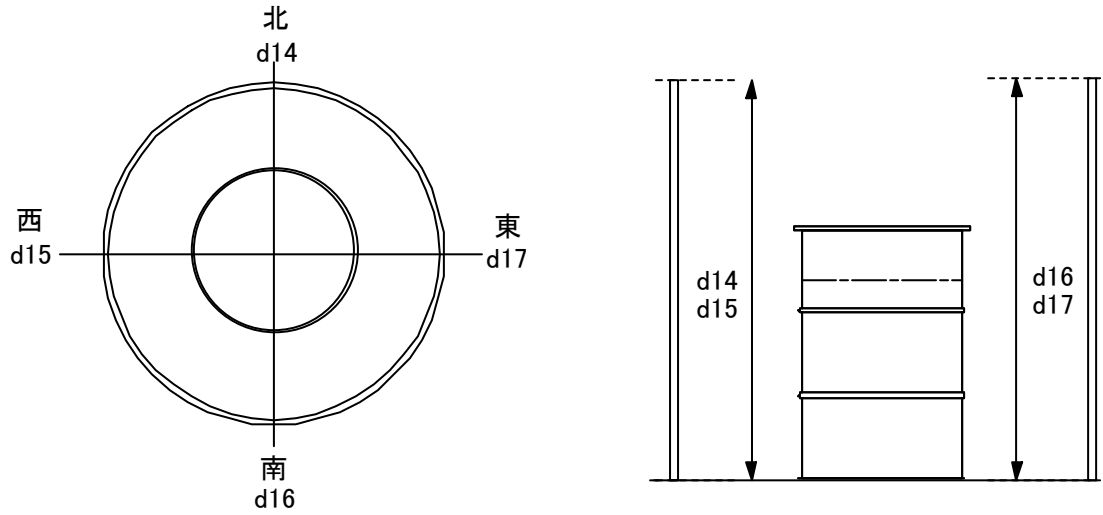


図 4-57 地盤材料全体の鉛直方向の変位量 (試験体 40)

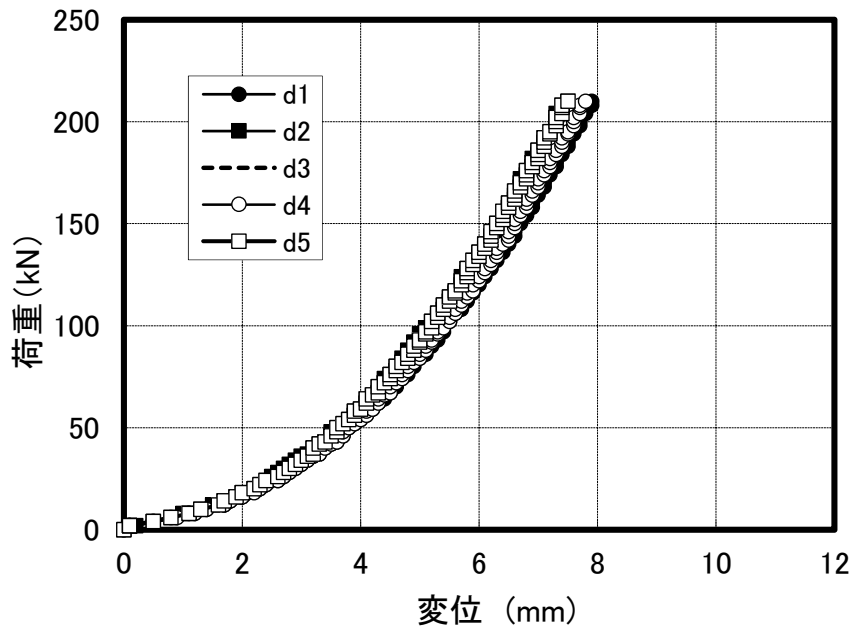
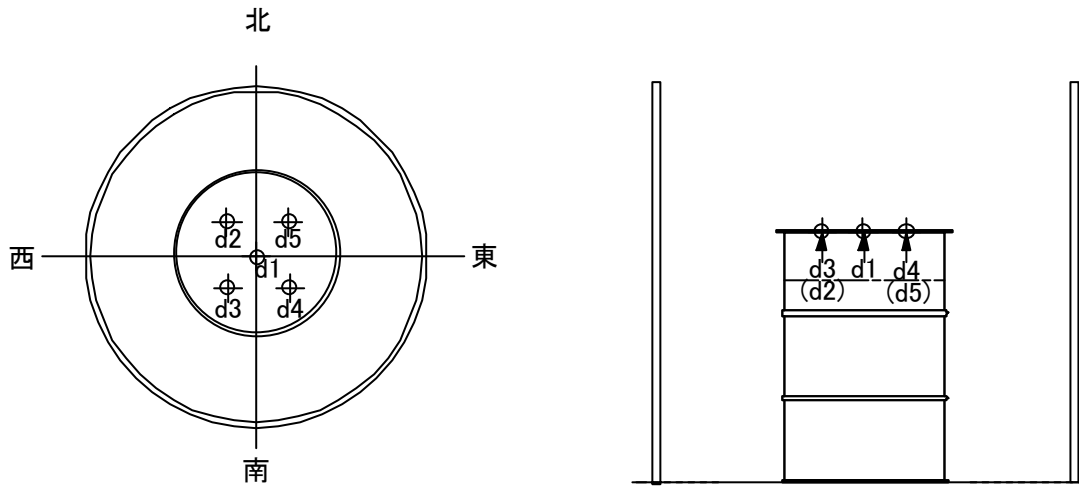
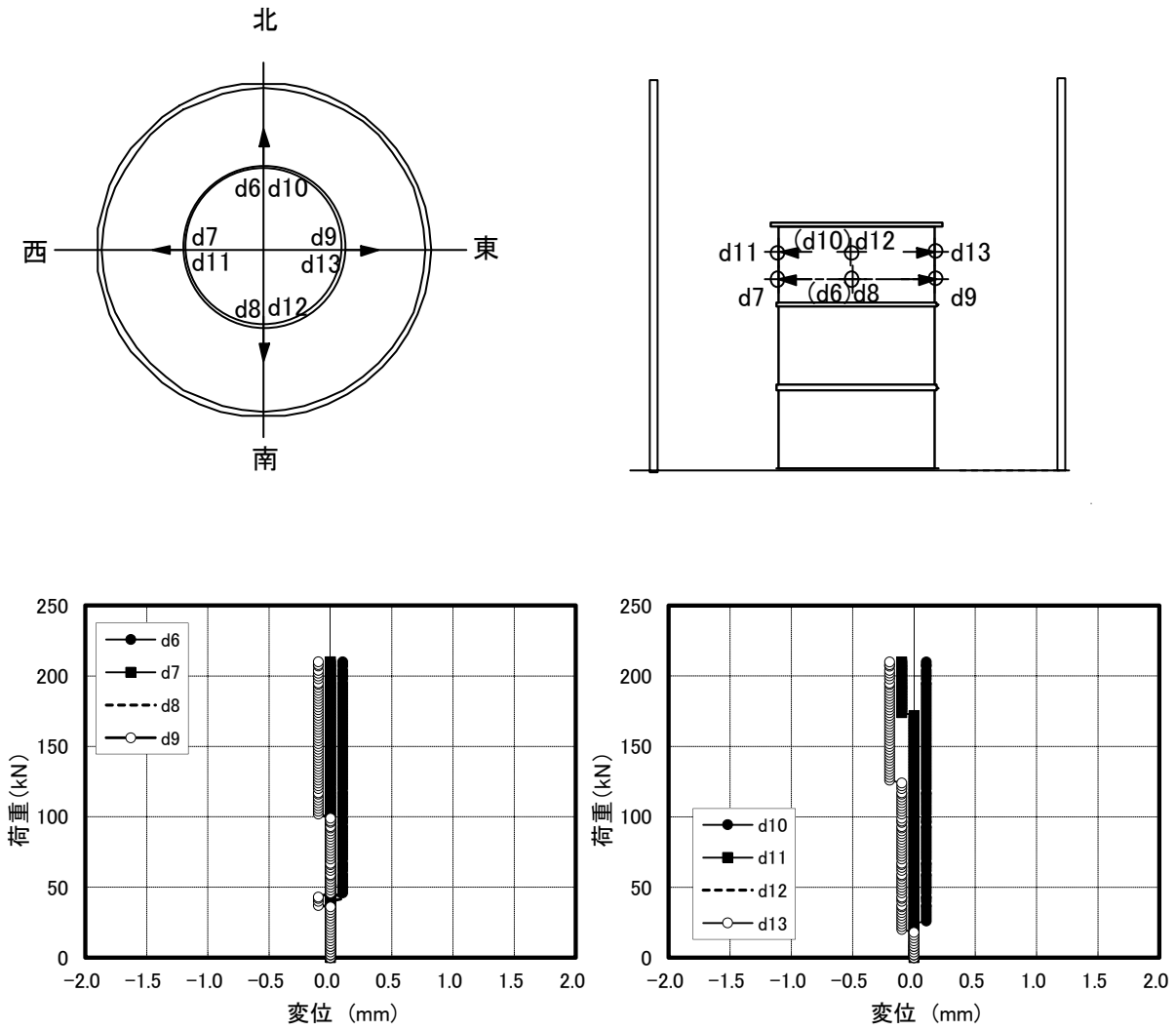


図 4-58 蓋部の変位量 (試験体 40)

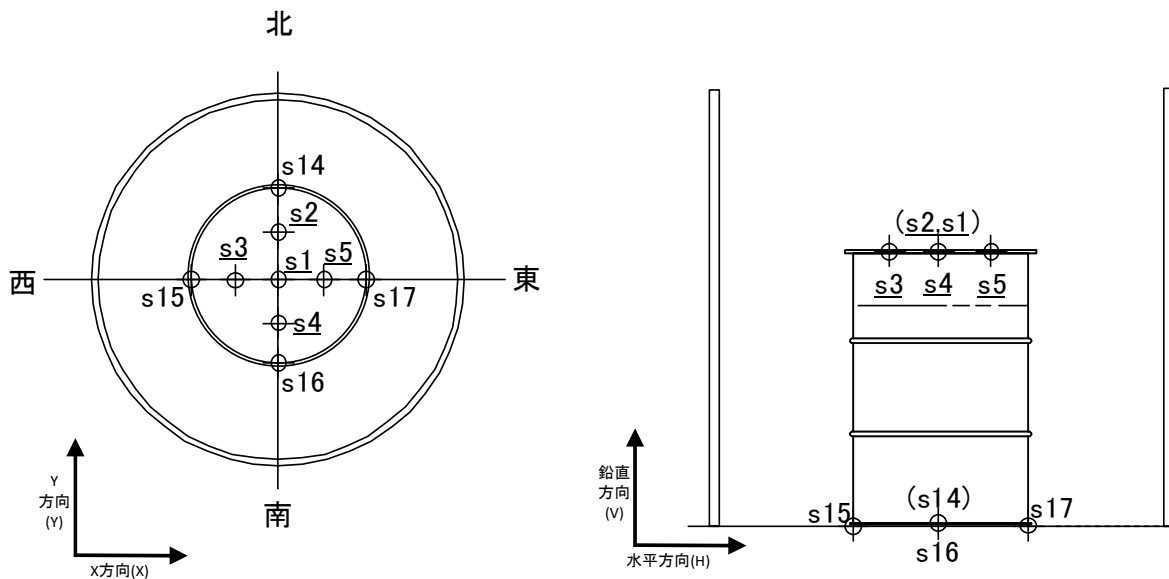


(1) 固型化部上 水平方向

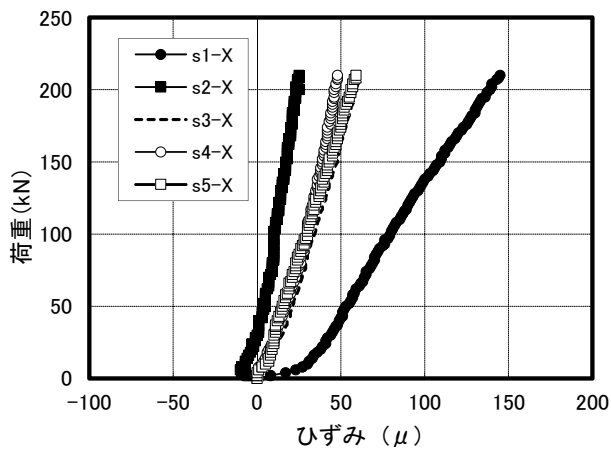
(2) 固型化部上と蓋部間

図 4-59 固型化部頂面及び上部空げき部の水平方向の変位量 (試験体 40)

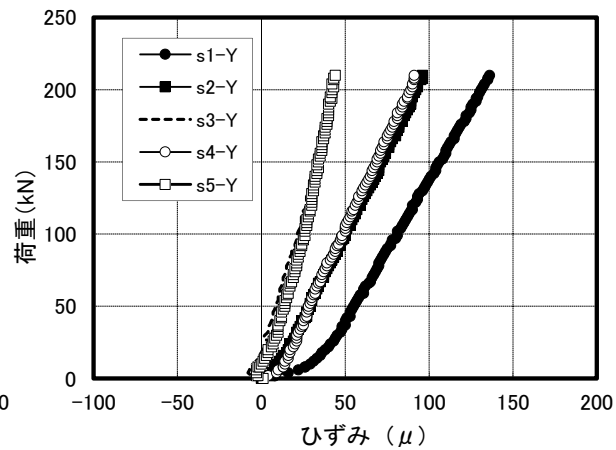




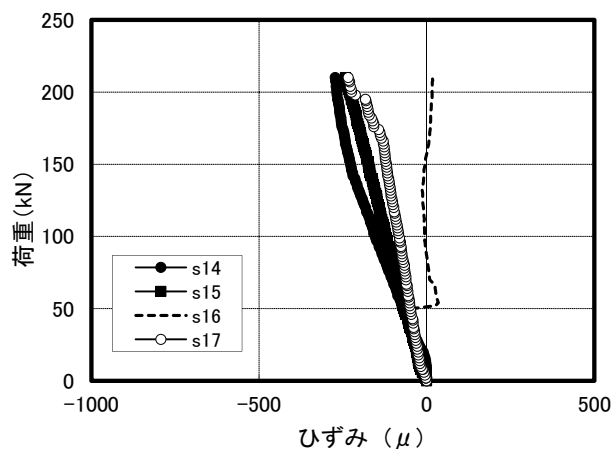
※ 下線ありは 2 軸ひずみ計を示す。下線なしは、1 軸ひずみ計を示す。



(1) 蓋部 X 方向



(2) 蓋部 Y 方向



(3) チャイム 鉛直方向

図 4-60 蓋部及びチャイムのひずみ量 (試験体 40)

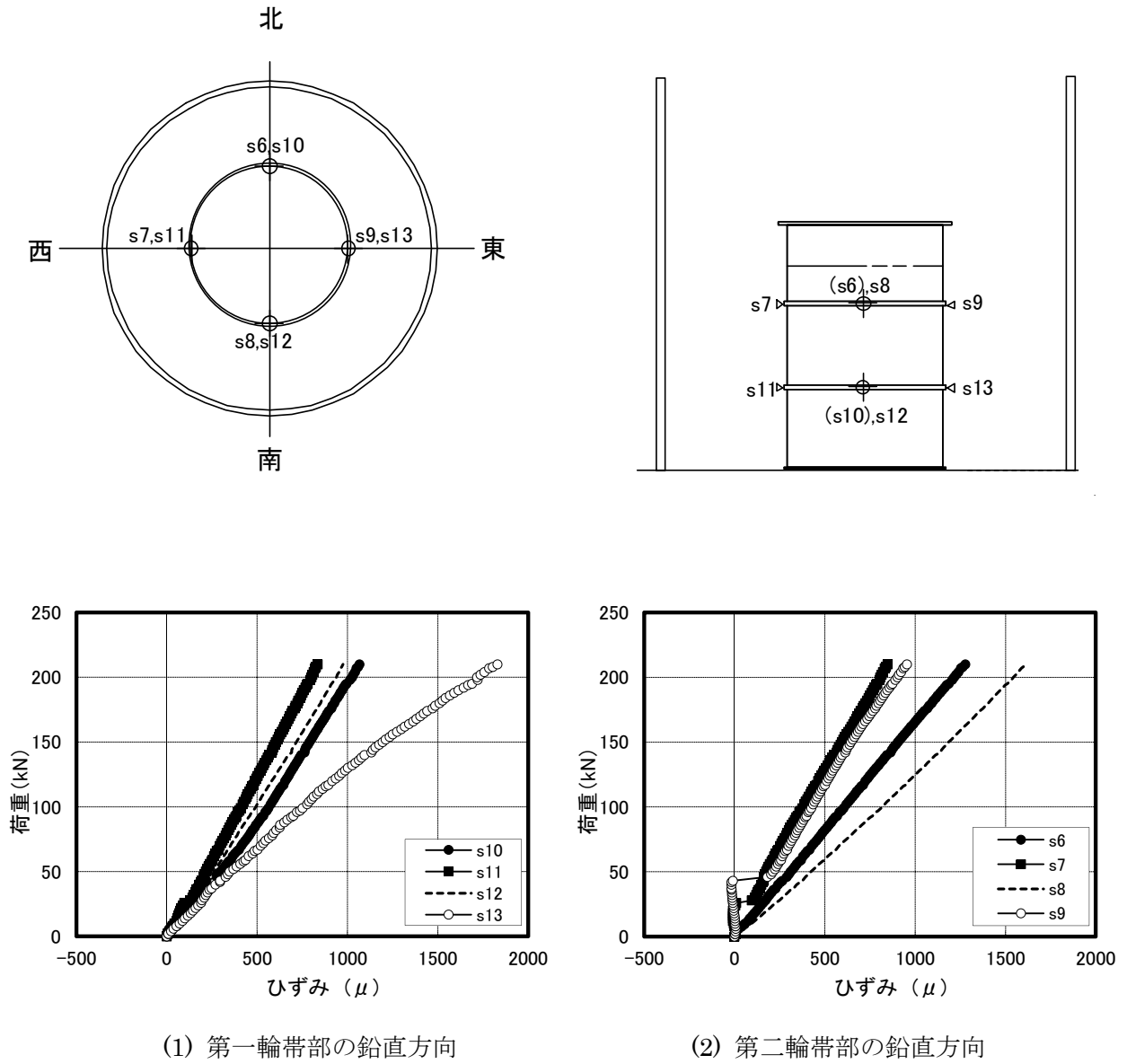
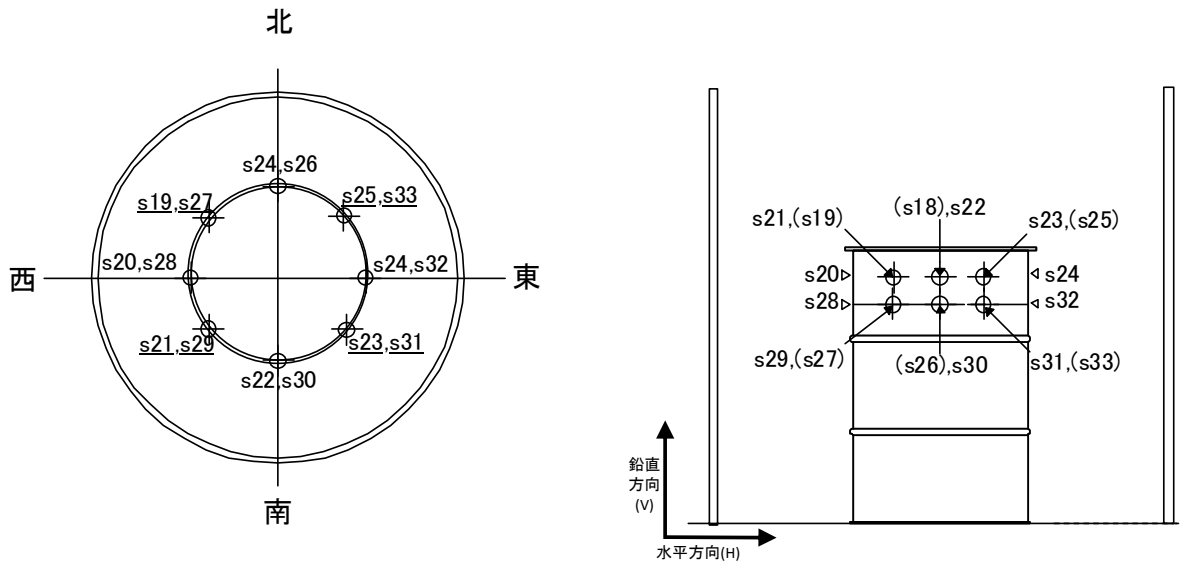
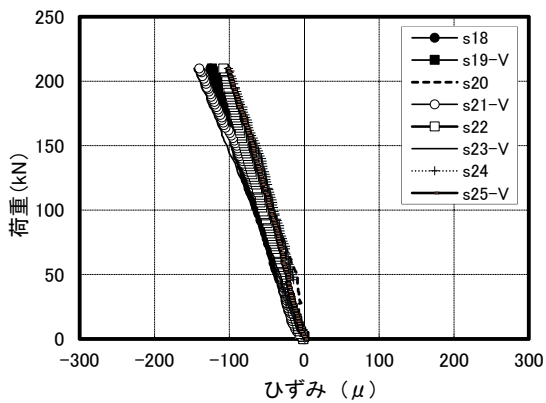


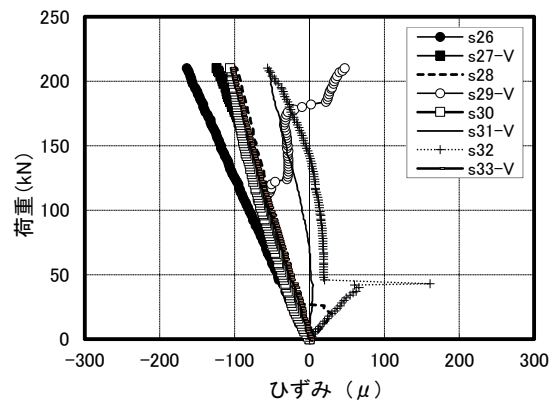
図 4-61 輪帯部のひずみ量 (試験体 40)



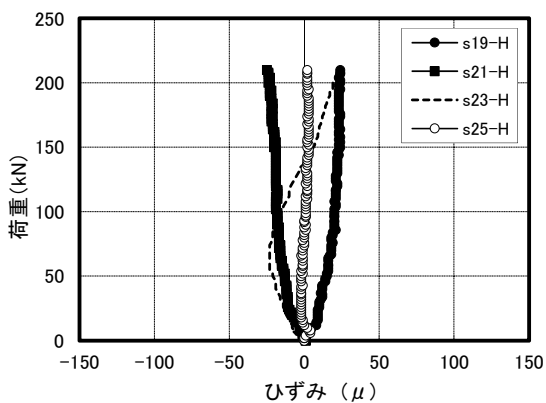
※ 下線ありは2軸ひずみ計を示す。下線なしは、1軸ひずみ計を示す。



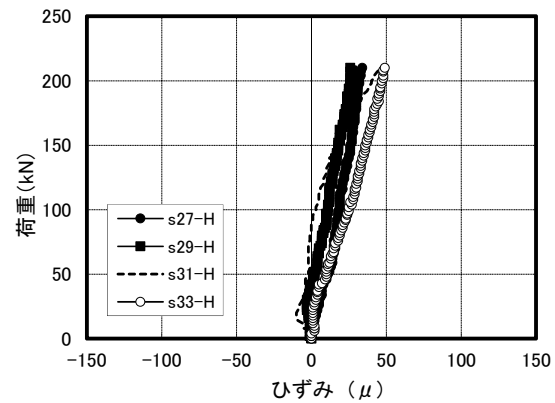
(1) 固化化部上と蓋部の間、鉛直方向



(2) 固化化部頂面、鉛直方向



(3) 固化化部上と蓋部の間、水平方向



(4) 固化化部頂面、水平方向

図 4-62 上部空げき部のひずみ量 (試験体 40)

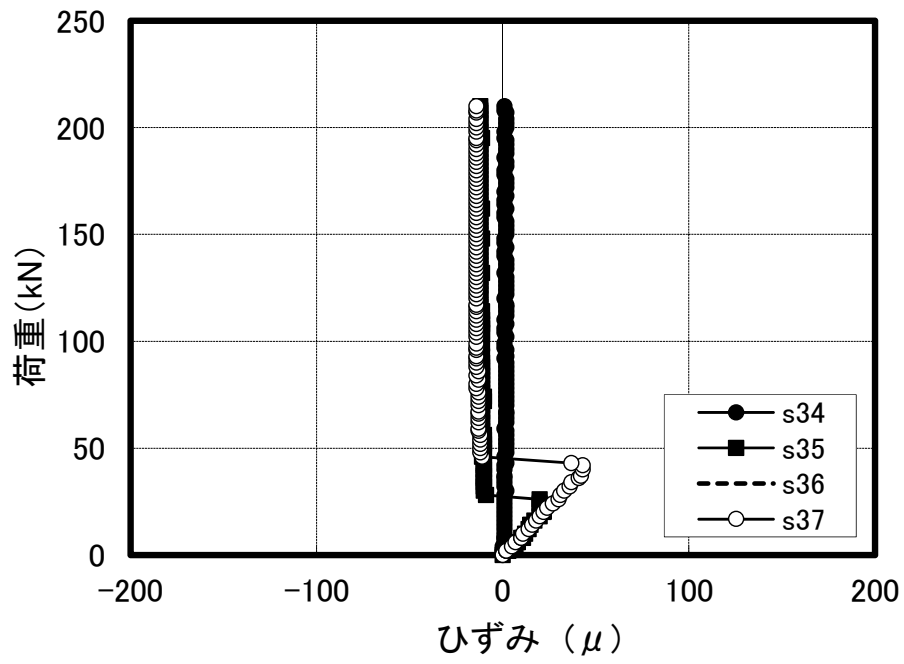
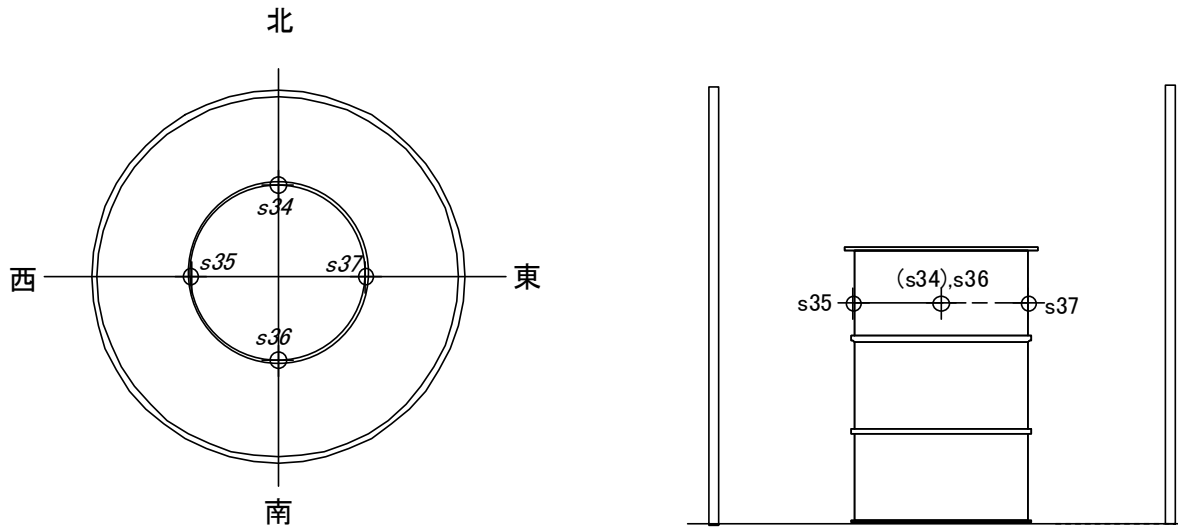
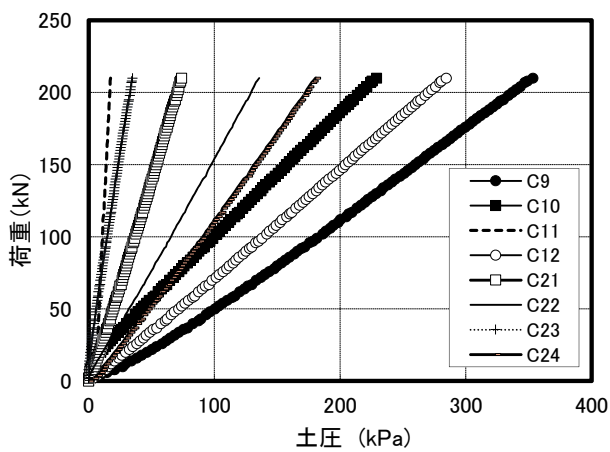
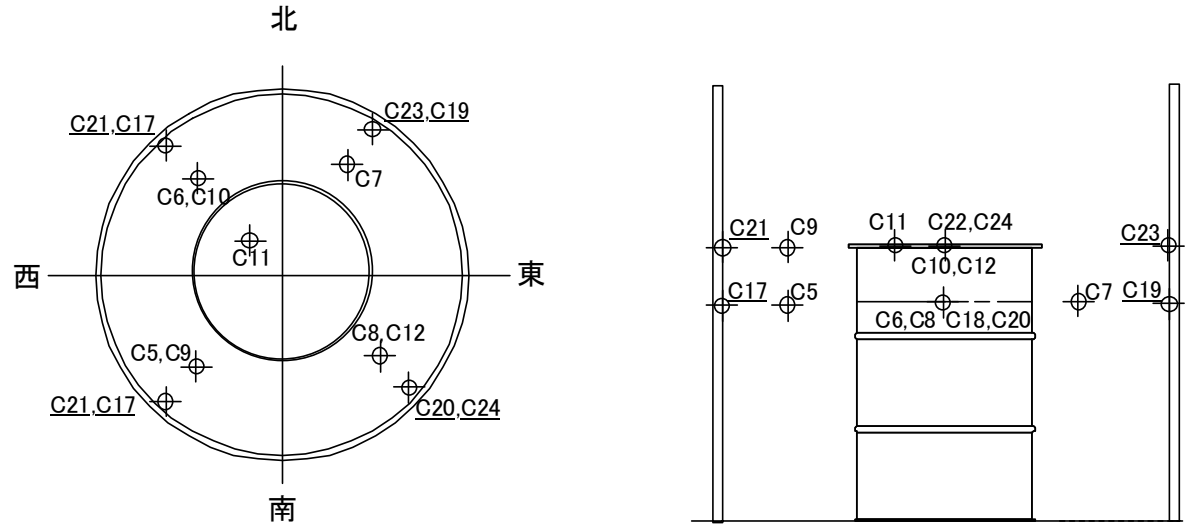
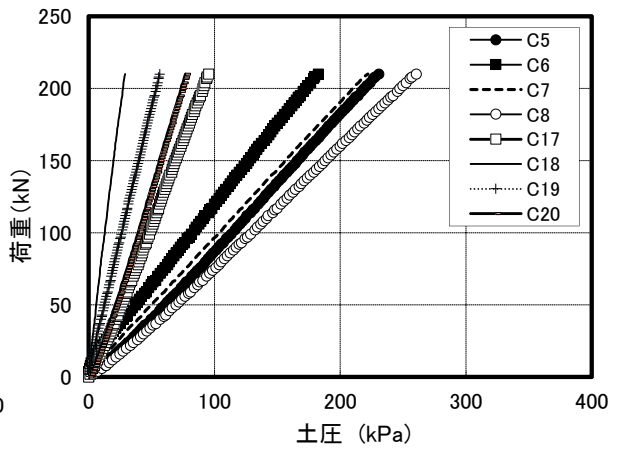


図 4-63 固型化部頂面のひずみ量 (試験体 40)



(1) 蓋部高さ



(2) 固型化部頂面高さ

図 4-64 地盤材料内の土圧 (試験体 40)

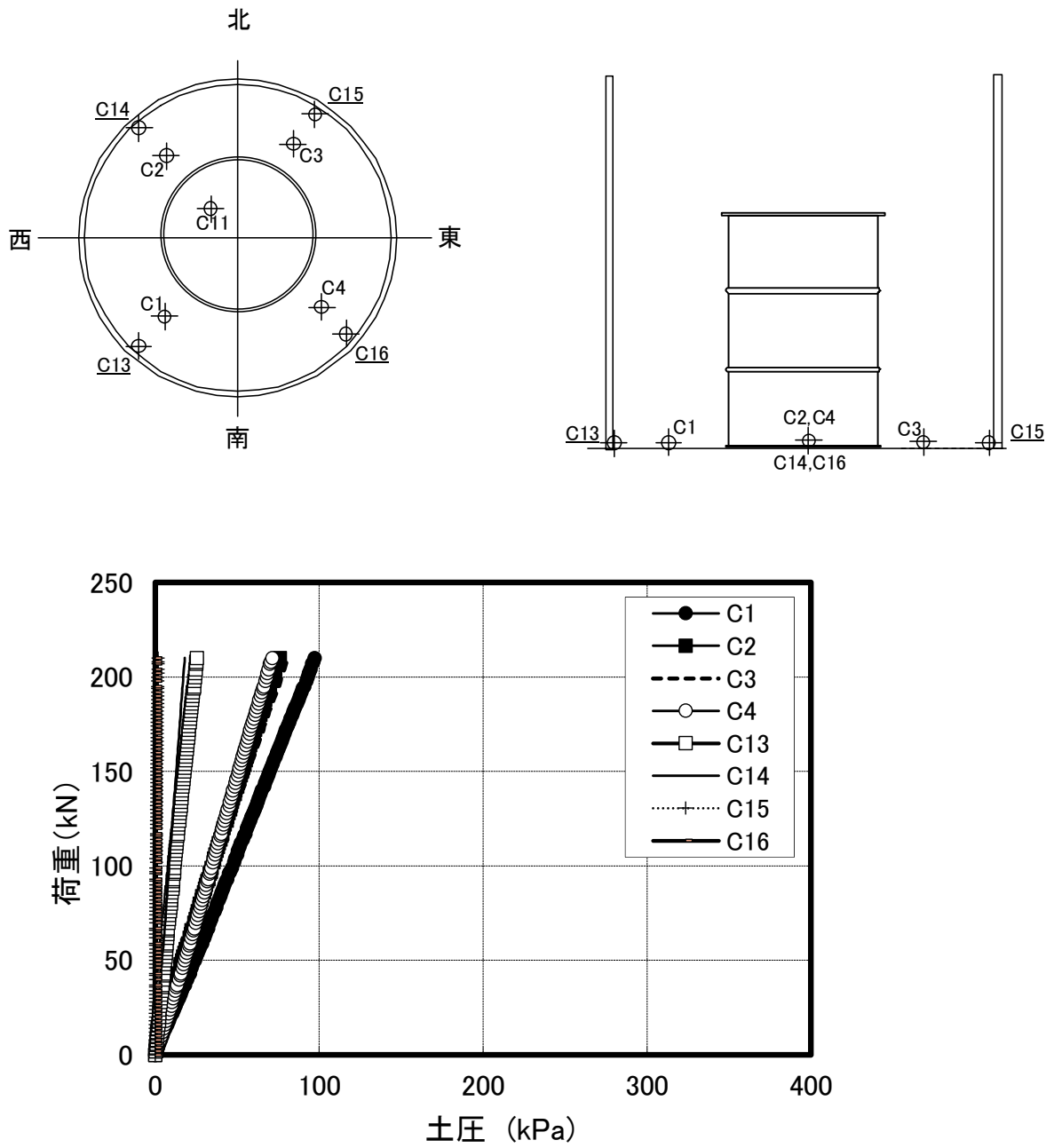
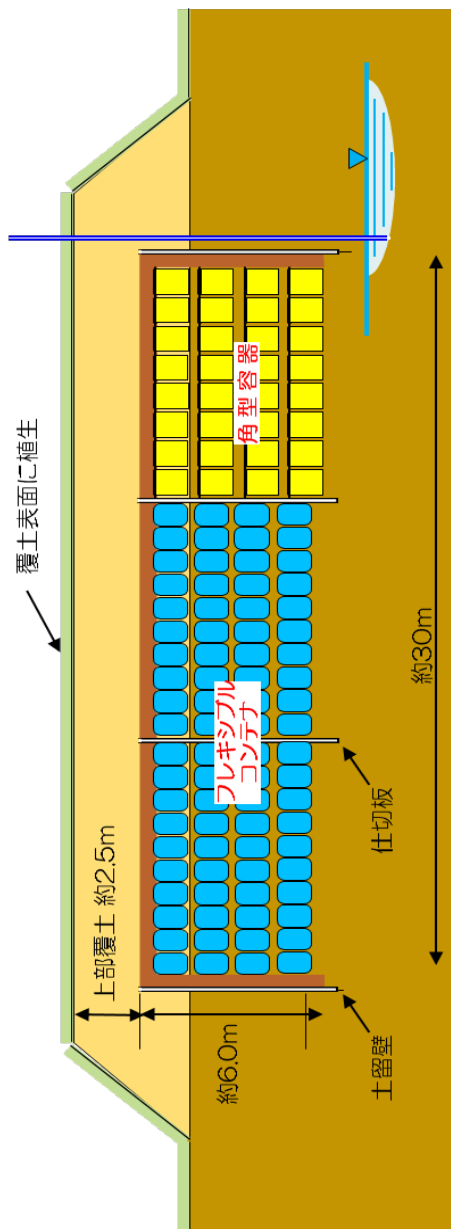
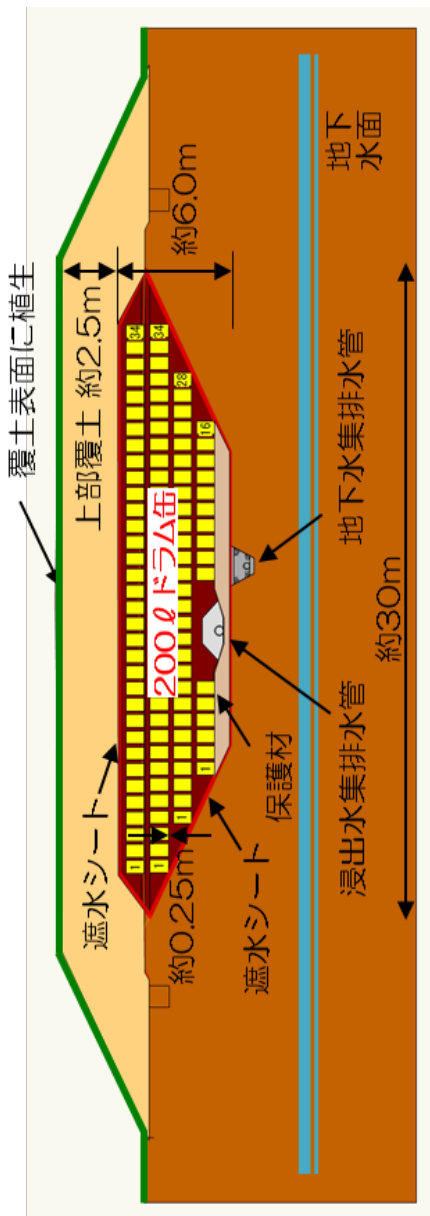


図 4-65 地盤材料底部の土圧 (試験体 40)



(1) 金属・コンクリート類を埋設するトレンチ埋設設備



(2) 金属・コンクリート類以外を埋設する付加機能型トレンチ埋設設備

※ 概念設計においては、3段階積みにより埋設すると設計しているが、ここでは保守的に4段階積みを想定した。

図 4-66 想定するトレンチ埋設設備の断面図



写真1 ドラム缶に模擬廃棄物を収納した状況 1



写真2 ドラム缶に模擬廃棄物を収納した状況 2

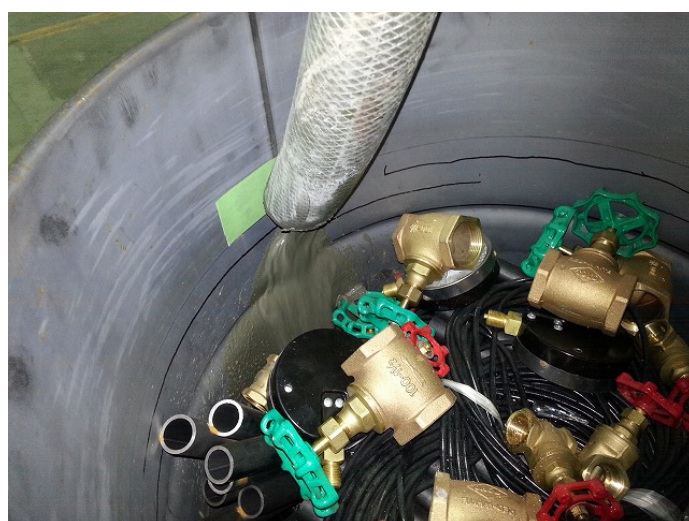


写真3 試験体への充填状況 1





写真 4 試験体への充填状況 2



写真 5 試験体への充填状況 3



写真 6 P ロート流下時間 30 秒のモルタルを充填した試験体の硬化後の状況



写真7 特殊治具



写真8 試験体の設置状況

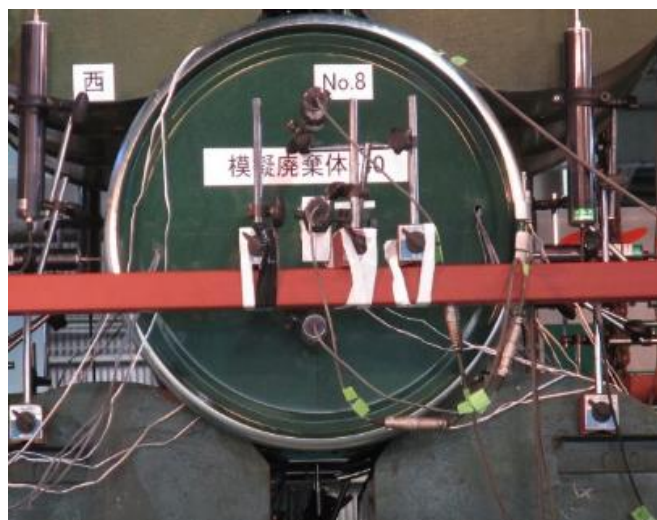


写真9 蓋部の変位計の設置状況

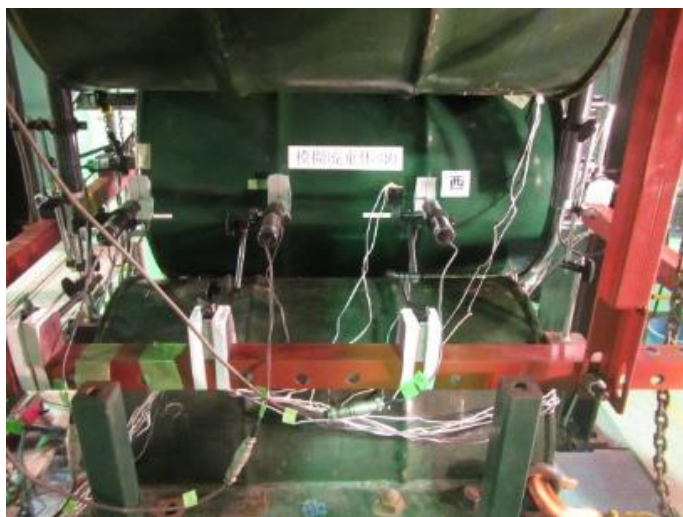


写真 10 試験体側部の変位計の設置状況



写真 11 試験体側部のひずみ計の設置状況



写真 12 固型化部頂面のひずみ計の設置状況



写真 13 試験体蓋部のひずみ計の設置状況 1



写真 14 試験体蓋部のひずみ計の設置状況 2



写真 15 載荷終了後の状態 (試験体 30)

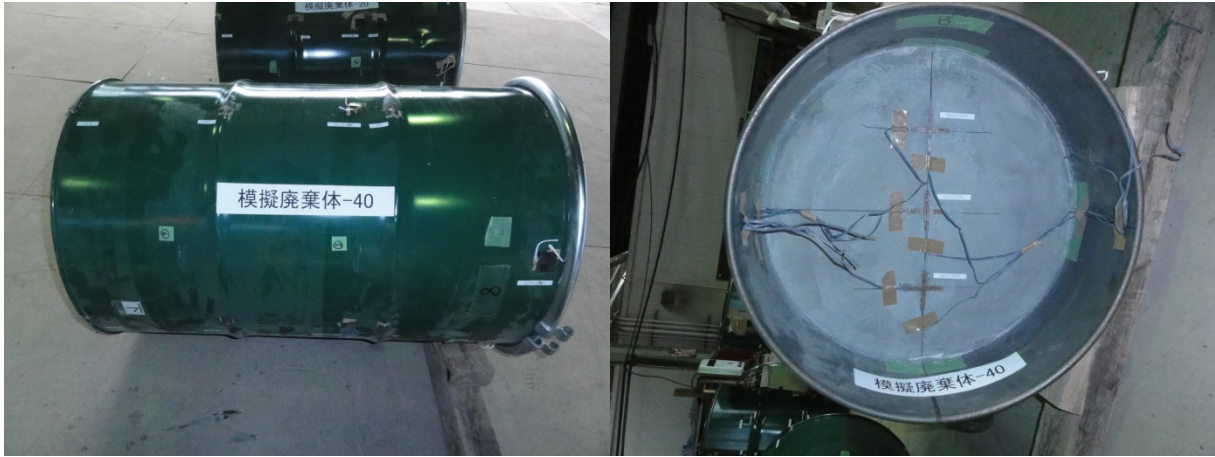


写真 16 載荷終了後の状態（試験体 40）



写真 17 載荷終了後の状態（試験体 50）



写真 18 200 リットルドラム缶内の変位計の設置状況



写真 19 試験体 30 の変位計の設置状況



写真 20 固定アーム（底板）への試験体の設置



写真 21 鋼製円筒殻容器



写真 22 地盤材料投入装置を鋼製円筒殻容器の上に設置した状況

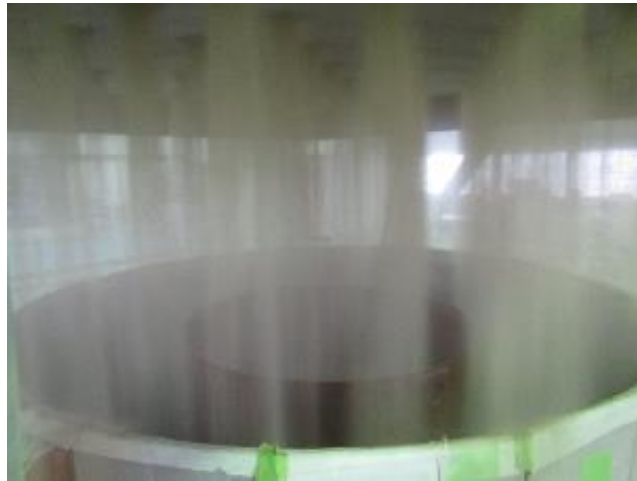


写真 23 ノズルから地盤材料を投入している状況



写真 24 鋼製円筒殻容器内にドラム缶を設置した状況



写真 25 土圧計の設置状況 1



写真 26 土圧計の設置状況 2



写真 27 地盤材料の投入完了時の状況





写真 28 載荷終了後の状態 (200 リットルドラム缶 H 級-3)



写真 29 載荷終了後の状態 (200 リットルドラム缶 H 級-4)



写真 30 載荷終了後の状態 (200 リットルドラム缶 M 級-3)



写真 31 載荷終了後の状態 (200 リットルドラム缶 M 級-4)



写真 32 載荷終了後の状態 (試験体 30)



写真 33 載荷終了後の状態 (試験体 40)

付録

# 原子力機構における廃棄体作製に係る基本手順の原則

## 妥当性確認箇所抜粋

平成 28 年 7 月

This is a blank page.

はじめに

原子力機構における廃棄体作製に係る基本手順の原則は、これまでに、原子力機構において発生・保管している固体状の放射性廃棄物を、原子力機構内の各拠点で統一的な廃棄体とすることを目的として、廃棄体の作製に関する基本的な事項について、その手順の原則を検討してきたものである。

本書は、JAEA-Technology 2016-001 において公開したもののうち、本報告書でその妥当性を確認した、耐埋設荷重に係る箇所の抜粋である。

### 5.3 充填固化廃棄体の作製要領

原子力機構で今後作製する充填固化廃棄体のうち、現状の廃棄物処理工程において廃棄体化処理が行われている充填固化廃棄体の具体的な作製要領は、以下のとおりとする。

#### 5.3.2 前処理

固体廃棄物は、高圧圧縮処理及び溶融処理を行わない場合、高圧圧縮処理を行う場合、高周波誘導溶融処理を行う場合、プラズマ溶融処理を行う場合とに区分して、以下の要領で処理前の前処理を行う。

##### 5.3.2.1 高圧圧縮処理及び溶融処理を行わない場合

###### (1) 作業要領

高圧圧縮処理及び溶融処理を行わない場合の前処理は、以下の要領で非処理対象物の除去及び分別を実施する。

非処理対象物の除去及び分別を実施するにあたっては、別途定める教育訓練を受けた分別等作業者が実施するものとし、別途定める分別等作業管理者が分別等作業者を指導、監督するとともに非処理対象物の除去及び分別が適切に実施されたことを確認する。

###### ① 非処理対象物の除去

容器等から前処理対象物となる固体廃棄物を取り出し、可燃物（セルロース系及びイソプレン系天然有機物製品）、埋設施設の健全性に影響を与える量の物質等で以下に示す固体廃棄物を目視等により除去するものとし、除去する固体廃棄物の種類が明確でない物についても同様に除去する。また、固体廃棄物中に液状物質が確認された場合は、付着しているものは拭き取り、缶類など容器内の液状物質は排出し別途措置する。なお、これら除去等した固体廃棄物は、別途容器等に封入し貯蔵施設等で再保管する。

除去する固体廃棄物の種類		
単 一 品	可燃物	木、紙、布、皮で構成される製品（セルロース系天然有機物製品）
		ゴム手、長靴等の天然ゴム製品（イソプレン系天然有機物製品）
	アルミ*	アルミニウム製品（一片が 15cm 程度で、アルミのみで又は大半がアルミでできているもの）
	鉛	鉛ブロック、鉛板、鉛毛マット等の鉛製品
特 定 品	アルミ*	HEPA フィルタ、アルミニウム製電動工具
	その他	重油を燃料とする焼却炉等の耐火煉瓦及びセラミックフィルタ
消防法及び危険物の規制に関する政令で定められる危険物 生活環境に影響を及ぼすおそれのある化学的に有害な物質		

\*：アルミニウムを簡易型埋設処分施設に埋設する場合は、対象外とする。

###### ② 分別

非処理対象物の除去を実施した固体廃棄物は、廃棄物による強度、固型化材料等の充填性等の観点から廃棄物の性状により以下のように強度分類及び形状分類に応じて分別する。

なお、強度分類が不明な種類の固体廃棄物は強度分類 B に、また、形状分類が不明な種類の固体廃棄物は、形状分類 2 に分別する。

高圧圧縮、熔融処理を行わない場合						切断・圧縮 処理	備考
仕分けする固体廃棄物の種類				強度分類	形状分類		
金属類	金属類	金属片・板類	金属板、鋼材、金属棒等	A	1		
		金属配管類	金属配管等	A	1		
		塊状金属類	弁等	A	1		
		小物金属類	ボルト、ナット類等	A	1		
		番線類	番線、針金等	A	1		
		缶類	一斗缶、ペール缶、スプレー缶等	A	2	切断 圧縮	
	コンクリート類 ガラス類	コンクリート類	コンクリート片、石膏ボード、土砂等	A	1		
		ガラス類	ガラス瓶等	A	2	切断	片・板状のガラス類は形状分類「1」とする
プラスチック類	管類	塩化ビニル配管等	A	1			
		塩化ビニルホース等	A	2	切断	処理対象は、内径1cm以上で長さ50cm以上のもの 内径1cm未満のものは形状分類「1」とする	
	線類	ケーブル、コード等	A	1			
		片類	プラスチック片	A	1		
			ゴム片(ガスケット、ゴム板等)等	B	1		
		塩化ビニル片	B	2	圧縮	圧縮処理により強度分類 B → A	
	箱状類	プラスチック容器類	A	2	切断		
	シート類	防炎シート、ビニルシート等	B	2	圧縮	圧縮処理により強度分類 B → A	
ゴムシート等		B	2	切断			
保温材類 フィルタ類	保温材類	ガラスクロス、ケイ酸カルシウム、 ロックウール、グラスウール等	B	2	圧縮	圧縮処理により強度分類 B → A	
	フィルタ類	バグフィルタ、ロールフィルタ、 プレフィルタ等	B	2	圧縮	圧縮処理により強度分類 B → A	

A: 強度高 1: 内部充填容易  
 → 直接容器収納 2: 内部充填困難  
 B: 強度低  
 → 内籠又は内張り容器収納

(2) 前処理作業記録要領

① 前処理作業記録管理項目

前処理の実施にあたっては、以下に示す記録管理項目について、前処理毎に記録する。

区分	記載管理項目	記載要領
非 処 理 対 象 物 の 除 去 及 び 分 別	前処理 No.	前処理作業毎に識別可能なよう適宜設定したNo.
	分別等作業者	非処理対象物の除去及び分別作業を実施した担当者名
	分別等作業管理者	非処理対象物の除去及び分別作業の管理を実施した担当者名
	分別等処理年月日	非処理対象物の除去及び分別作業を実施した年月日
	分別等対象廃棄物 No.	非処理対象物の除去及び分別の対象とした固体廃棄物の管理 No.等
	分別等終了廃棄物 No.	非処理対象物の除去及び分別を実施した後の固体廃棄物の管理 No.等
	非処理対象物	廃棄物から除去した非処理対象物の種類及び量
	分別対象物	分別した固体廃棄物の種類及び量
	分別等作業確認	非処理対象物の除去及び分別を適切に実施した確認の記録

② 処理作業記録の保存期間

記録は当該固体廃棄物に係る廃棄物の埋設確認を受けるまでの期間保存する。

### 5.3.3 処理

前処理を実施した固体廃棄物は、切断・圧縮処理を行う場合、高圧圧縮処理を行なう場合、高周波誘導溶融処理を行う場合、プラズマ溶融処理を行う場合とに区分して、以下の要領で処理を行う。

#### 5.3.3.1 切断、圧縮処理

##### (1) 作業要領

前処理において高圧圧縮処理及び溶融処理を行わない場合として、固型化材料等が容器の内部に充填し難い等に分別された形状分類 2 の固体廃棄物については、以下の固体廃棄物の種類に応じ、切断処理又は圧縮設備により圧縮処理を行う。

形状分類2に該当する固体廃棄物の種類				切断・圧縮処理	備考
金属類	・金属類	缶類	一斗缶、ペール缶、スプレー缶等	切断 圧縮	
有機難燃物類 非金属類	・コンクリート類 ・ガラス類	ガラス類	ガラス瓶等	切断	片・板状のガラス類は形状分類「1」とする
		管類	塩化ビニルホース等	切断	処理対象は、内径1cm以上で長さ50cm以上のもの 内径1cm未満のものは形状分類「1」とする
	・塩化ビニル類 ・プラスチック類 ・ゴム類	片類	塩化ビニル片	圧縮	圧縮処理により強度分類 B → A
		箱状類	プラスチック容器類	切断	
		シート類	防災シート、ビニルシート等	圧縮	圧縮処理により強度分類 B → A
			ゴムシート等	切断	
フィルタ類	・保温材類 ・フィルタ類	保温材類	ガラスクロス、ケイ酸カルシウム、 ロックウール、グラスウール等	圧縮	圧縮処理により強度分類 B → A
		フィルタ類	バグフィルタ、ロールフィルタ、 プレフィルタ等	圧縮	圧縮処理により強度分類 B → A

切断処理を実施する場合には、固型化材料等の充填の観点から、以下のとおり実施する。

- ・ 固体廃棄物内部に大きな閉空間が残らないようにする。
- ・ 内径が約 1cm 以上の塩化ビニルホース等は、50cm 以下に切断する。
- ・ 15mm 以下のものが多量に発生しないようにする。

##### (2) 処理作業記録要領

###### ① 切断・圧縮処理作業記録管理項目

切断・圧縮処理作業の実施にあたっては、以下に示す記録管理項目について、切断・圧縮処理作業毎に記録する。

区分	記載管理項目	記載要領
切断・ 圧縮 処理	処理作業No.	切断・圧縮処理作業毎に識別可能なよう適宜設定したNo.
	処理作業者	切断・圧縮処理作業を実施した担当者名
	処理年月日	切断・圧縮処理作業を実施した年月日
	圧縮処理設備	圧縮処理を実施した処理設備名
	圧縮圧力	圧縮処理を実施した最大圧縮圧力
	処理対象廃棄物No.	切断・圧縮処理の対象とした固体廃棄物の管理No.等
	処理終了廃棄物No.	切断・圧縮処理作業を実施した後の固体廃棄物の管理No.等
	処理対象物	切断・圧縮処理作業した固体廃棄物の種類及び量
	作業確認	切断・圧縮処理作業を適切に実施した確認の記録

###### ② 処理作業記録の保存期間

記録は、当該固体廃棄物に係る廃棄体の埋設確認を受けるまでの期間保存する。



### 5.3.4 容器収納

#### (1) 作業要領

前処理又は処理を行なった固型化対象廃棄物は、以下の要領で容器への収納を行う。

##### 1) 容器の供給

固型化対象廃棄物を収納する容器の仕様は、以下のとおりとする。

###### ① オープンドラム缶

固型化対象廃棄物の収納に用いるオープンドラム缶は、JIS Z 1600:1993 に定める鋼製オープンヘッドドラムで1種H級又はM級の容器、若しくはこれと同等以上の品質(強度及び密封性)を有するもの。

なお、同等以上の品質を有するものには以下のものがある。

- ・ JIS Z 1600: (1974),(1977)に定める H 級又は M 級
- ・ JIS Z 1600: (1988)に定める 1 種 H 級又は1種 M 級
- ・ JIS Z 1600: (2006)に定める H 級又は M 級
- ・ JIS Z 1601: (1967),(1976),(1986),(1994) に定める 1 種 H 級又は1種 M 級
- ・ JIS Z 1601: (2006)に定める H 級又は M 級
- ・

###### ② コンクリート内張りドラム缶

固型化対象廃棄物の収納に用いるコンクリート内張りドラム缶は、上記①オープンドラム缶に、JIS A 1108 コンクリートの圧縮強度試験方法に基づくコンクリートの材齢 28 日における一軸圧縮強度が、29.5MPa(300kg/cm<sup>2</sup>)以上のコンクリート又はモルタルを周囲厚さ 20mm 以上となるように内張りしたものの。

##### 2) 容器収納区分

固型化対象廃棄物の容器への収納は、次の固型化対象廃棄物の強度分類に応じて以下の区分により容器へ収納する。

廃棄物		収納方法
種類	強度分類	
・圧縮体 ・高圧圧縮体 ・溶融体 ・ゴム類等以外の固体廃棄物	A	固型化対象廃棄物を、容器に直接収納
ゴム類等*	B	固型化対象廃棄物を、コンクリート内張りドラム缶に収納

\*:強度分類が不明な廃棄物を含む

##### 3) 容器収納要領

- ① 固型化対象物を収納する高さは、固型化後に固型化対象廃棄物が固化体上部において露出しない位置までとする。
- ② 塩化ビニル、プラスチック類等の比重の小さい固型化対象廃棄物を収納する場合は、固型化時に廃棄物が浮上しないような措置を施す。
- ③ 固型化を実施する際に、収納の方法等により著しい空隙等が生じることが想定される形状の固型化対象物は、空げきが生じにくいように収納する。
- ④ 容器に損傷を与えないように収納する。
- ⑤ 固型化対象物の容器への収納を実施するにあたっては、別途定める教育訓練を受けた分別等作業員が実施するものとし、別途定める分別等作業管理者が分別等作業員を指導、監督するとともに固型化対象物の容器への収納が適切に実施されたことを確認する。

(2) 記録要領

① 記録管理項目

固型化対象廃棄物の容器への収納の実施にあたっては、以下に示す記録管理項目について、容器収納作業毎に記録する。ただし、容器については、当該品の購入又は納入の都度記録する。

区分	記載管理項目	記載要領
容 器	受入担当者名	容器を受領した者の担当者名
	納入業者	納入業者等からの納品書又は試験検査成績書にて確認、受領
	納入先	
	納入年月日	
	製造業者	
	数量	
	容器の JIS(年号入)又は試験結果	
	コンクリート内張り部の圧縮強度試験結果	
コンクリート内張り部の寸法		
収 納	収納担当者名	収納を実施した担当者
	収納作業管理者	収納作業の管理を実施した担当者名
	Lot No.又は Run No.	収納作業毎に識別可能なよう適宜設定した No.
	収納年月日	収納を実施した年月日
	収納対象廃棄物 No.	収納する固型化対象廃棄物の識別 No.
	収納対象廃棄物	収納した固型化対象廃棄物の種類及び量
	収納区分	収納した方法の区分
	収納容器 No.	収納した容器の No.
収納作業確認	所定の手順により収納作業が実施されていることの確認の記録	

② 記録の保存期間

記録は、当該固型化対象廃棄物に係る廃棄体の埋設確認を受けるまでの期間保存する。

5.3.5 固型化

(1) 作業要領

容器収納を行った固型化対象廃棄物は、セメントによるアウトドラムミキシング方式により、以下の要領で固型化を行う。

1) 固型化材料等の供給

セメント、骨材、混和材料又はこれらのうち 2 種類以上をプレミックスしたもの及び水を固型化材料等の原材料として供給する。供給する原材料の仕様、固型化材料等の配合基準、固型化材料等の管理要領は以下のとおりとする。

① 原材料の仕様

固型化材料等に用いる原材料の仕様は以下のとおりとする。なお、プレミックスされた原材料を使用する場合は、プレミックスされた個々の原材料の仕様が本仕様を満足するものとする。

i) セメント

容器に固型化するためのセメントは、JIS R 5210:1992 ポルトランドセメントに定められる。

- ・ 普通ポルトランドセメント
- ・ 早強ポルトランドセメント

- ・ 超早強ポルトランドセメント
- ・ 中庸熟ポルトランドセメント
- ・ 耐硫酸塩ポルトランドセメント

又は JIS R 5211:1992 高炉セメントに定められる。

- ・ A 種
- ・ B 種
- ・ C 種

若しくはこれと同等以上の品質(JIS R 5201:1997 セメントの物理試験方法に基づく安定性試験及び強さ試験)を有するもの。

なお、同等以上の品質を有するセメントには以下のものがある。

JIS R 5120: (1969),(1973),(1977),(1979),(1986),(1997),(2003),(2009)に定める普通ポルトランドセメント

JIS R 5211: (1969),(1973),(1977),(1979),(1997), (2003),(2009)に定める B 種又は C 種高炉セメント

ii) 水

固型化に練り混ぜ水を使用する場合は、練り混ぜ水は上水道水又はろ過水とする。

iii) 骨材

容器に固型化するため骨材を使用する場合は、骨材の粒径が 5mm 以下のものとする。

iv) 混和材料

容器に固型化するため混和材料を使用する場合は、固型化された放射性廃棄物について JIS A 1108 コンクリートの圧縮強度試験方法に基づくコンクリートの材齢 28 日における一軸圧縮強度が、29.5MPa(300kg/cm<sup>2</sup>)以上になるような品質を有する配合比率に基づく混和材料とする。

② 固型化材料等の配合

固型化材料等の配合は、以下に示す条件を満足するよう配合設計を行なう。また、配合設計を実施した固型化材料等の種類、産地及び購入先の変更等が生じた場合には、必要に応じて配合設計を見直す。また、原則として、廃棄物透視確認装置等により、固型化材料等が内部に確実に充填され有害となる空隙が生じていないことを適宜確認する。

i) 圧縮強度

固型化材料等の性能として、JIS A 1108 コンクリートの圧縮強度試験方法に基づくコンクリートの材齢 28 日における一軸圧縮強度が 29.5MPa(300kg/cm<sup>2</sup>)以上となることを満足すること。

ii) 流動性

固型化材料等の流動性は、(社)土木学会コンクリート標準仕方書プレパックドコンクリートに記述される P ロートによる流下時間を参考にし、以下の範囲とする。

固型化材料の種類	P ロートによる 流下時間目標値	
	上限値	下限値
高性能減水材を使用したもの*1	50 秒	30 秒
上記以外	20 秒	16 秒*2

\*1: JIS A6204 に規定される高性能 AE 減速剤を含む。

\*2: 下限値を超える場合は、材料分離が著しく生じないことを事前に確認する。

③ 原材料の保管方法

セメント、骨材については、湿気を受けないよう保管するとともに、原則として納入後 3 ヶ月以内のものを使用するものとする。3 ヶ月を経過したものを使用する場合は、当該セメントの JIS 規格による品質を確認する。また、混和材料については、不純物の混入、分離、変質、凍結等により品質の低下が生じないよう保管する。

④ 原材料の管理要領

セメント、骨材、混和材料については、納入業者等の納品書又は試験検査成績書等により、原材料の仕様を満足することを購入の都度確認、管理する。また、配合設計を変更の都度、固型化材料等の流動性、硬化後の一軸圧縮強度を確認する。

2) 固型化材料等の計量、混練

- ① 所定のホッパ、槽、系統等から、セメント、骨材、混和材料又はこれらのうち2種類以上をプレミックスしたもの、水について、流量計、重量計等の計量器又は計量方法により所定の配合比となるよう計量し、固型化材料等を十分な練り混ぜ性能を有する混練機に注入し、均質に混練する。

所定の混練が終了した固型化材料等は、所定の系統を介して容器へ排出、充填する。容器へ搬出、充填する際には、容器の天蓋を閉めた状態で、天蓋の下面から混練された固型化材料等の上面に出来ると想定される空隙が、容器内容積(コンクリート内張りドラム缶の場合は、コンクリート内張り部の容積を含む。)に対して10%以下となることを目標に排出、充填する。注入速度は、30ℓ/分以下とする。

なお、計量に使用する計量器は、所定の性能に保たれるよう1回/年以上の頻度で検査、校正等を実施し、その検査、校正結果を記録として保管する。

- ② 固型化材料等の混練は、所定の練り混ぜ回転数、練り混ぜ時間、混練機への固型化材料等の投入量により行う。

3) 養生

混練された固型化材料等の充填を行った容器は、所定の養生室又は区画等において養生し、ブリーディング水の無いことを確認のうえ天蓋の蓋閉めを行う。養生期間は、固型化材料の容器への排出、充填後一晩以上を目安とし、固型化材料等の配合、養生時における室温等に応じて所定の必要最低養生期間を設定しておく。

(2) 記録要領

① 記録管理項目

セメントによるアウトドラムミキシング方式での固型化処理の実施にあたっては、以下に示す記録管理項目について、固型化処理作業毎に記録する。ただし、原材料については、当該品の購入又は納入の都度記録する。

区分	記載管理項目	記載要領	
原材料	受入担当者名	原材料を受領した者の担当名	
	納入業者	セメント、骨材、混和材料の納入業者等からの納品書又は試験検査成績書にて確認、受領	
	納入先		
	納入年月日		
	製造業者		
	種類及び数量		
	セメントの JIS(年号入)又は試験結果		
計量・混練	処理担当者名	固型化処理を実施した担当者	
	LotNo.又は RunNo.	固型化処理作業毎に識別可能なよう適宜設定した No.	
	固型化年月日	固型化処理を実施した年月日	
	固型化対象廃棄物	固型化対象廃棄物の識別 No.	
	各固型化材料等の種類及び投入量	容器毎における固型化材料等の種類及び種類毎の投入量	
	練り混ぜ回転数	LotNo.又は RunNo.毎の固型化処理作業時の混練機の回転数	
	練り混ぜ時間	LotNo.又は RunNo.毎の固型化処理作業時の混練機の稼動時間	
	容器 No.	固型化した容器の No.を識別可能なよう適宜設定した No.	
	作業内容	所定の手順により計量、混練、作業が実施されていることの確認	
養生	養生処理	養生処理担当者名	固型化処理後の容器の養生を実施した担当者
		容器 No.	養生を実施した容器の No.
		養生期間(年月日)	養生を実施した期間(年月日)
		ブリーディング水の有無	ブリーディング水の有無の状況
		空容器重量*	オープンドラム缶又はコンクリート内張りドラム缶の空重量
		空容器内径及び内高*	オープンドラム缶又はコンクリート内張りの内径及び内高寸法
	重量測定	測定担当者名	廃棄体の重量測定を実施した担当者
		廃棄体重量測定年月日	廃棄体の重量を測定した年月日
		廃棄体重量	天蓋の蓋閉め後の廃棄体全体の重量

\*容器の購入・納品又は養生までに記録する。

② 記録の保存期間

記録は、当該固型化対象廃棄物に係る廃棄体の埋設確認を受けるまでの期間保存する。

This is a blank page.

# 国際単位系 (SI)

表1. SI 基本単位

基本量	SI 基本単位	
	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質량	モル	mol
光度	カンデラ	cd

表2. 基本単位を用いて表されるSI組立単位の例

組立量	SI 組立単位	
	名称	記号
面積	平方メートル	m <sup>2</sup>
体積	立方メートル	m <sup>3</sup>
速度	メートル毎秒	m/s
加速度	メートル毎秒毎秒	m/s <sup>2</sup>
波数	毎メートル	m <sup>-1</sup>
密度, 質量密度	キログラム毎立方メートル	kg/m <sup>3</sup>
面積密度	キログラム毎平方メートル	kg/m <sup>2</sup>
比体積	立方メートル毎キログラム	m <sup>3</sup> /kg
電流密度	アンペア毎平方メートル	A/m <sup>2</sup>
磁界の強さ	アンペア毎メートル	A/m
量濃度 <sup>(a)</sup> , 濃度	モル毎立方メートル	mol/m <sup>3</sup>
質量濃度	キログラム毎立方メートル	kg/m <sup>3</sup>
輝度	カンデラ毎平方メートル	cd/m <sup>2</sup>
屈折率 <sup>(b)</sup>	(数字の)	1
比透磁率 <sup>(b)</sup>	(数字の)	1

(a) 量濃度 (amount concentration) は臨床化学の分野では物質濃度 (substance concentration) ともよばれる。  
 (b) これらは無次元量あるいは次元1をもつ量であるが、そのことを表す単位記号である数字の1は通常は表記しない。

表3. 固有の名称と記号で表されるSI組立単位

組立量	SI 組立単位			
	名称	記号	他のSI単位による表し方	SI基本単位による表し方
平面角	ラジアン <sup>(b)</sup>	rad	1 <sup>(b)</sup>	m/m
立体角	ステラジアン <sup>(b)</sup>	sr <sup>(c)</sup>	1 <sup>(b)</sup>	m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>
周波数	ヘルツ <sup>(d)</sup>	Hz		s <sup>-1</sup>
力	ニュートン	N		m kg s <sup>-2</sup>
圧力, 応力	パスカル	Pa	N/m <sup>2</sup>	m <sup>-1</sup> kg s <sup>-2</sup>
エネルギー, 仕事, 熱量	ジュール	J	N m	m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup>
仕事率, 工率, 放射束	ワット	W	J/s	m <sup>2</sup> kg s <sup>-3</sup>
電荷, 電気量	クーロン	C		s A
電位差 (電圧), 起電力	ボルト	V	W/A	m <sup>2</sup> kg s <sup>-3</sup> A <sup>-1</sup>
静電容量	ファラド	F	C/V	m <sup>2</sup> kg <sup>-1</sup> s <sup>4</sup> A <sup>2</sup>
電気抵抗	オーム	Ω	V/A	m <sup>2</sup> kg s <sup>-3</sup> A <sup>-2</sup>
コンダクタンス	ジーメン	S	A/V	m <sup>2</sup> kg <sup>-1</sup> s <sup>3</sup> A <sup>2</sup>
磁束	ウエーバ	Wb	Vs	m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup> A <sup>-1</sup>
磁束密度	テスラ	T	Wb/m <sup>2</sup>	kg s <sup>-2</sup> A <sup>-1</sup>
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A	m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup> A <sup>-2</sup>
セルシウス温度	セルシウス度 <sup>(e)</sup>	°C		K
光照射度	ルーメン	lm	cd sr <sup>(c)</sup>	cd
放射線量	グレイ	Gy	J/kg	m <sup>2</sup> s <sup>-2</sup>
放射性核種の放射能 <sup>(f)</sup>	ベクレル <sup>(d)</sup>	Bq		s <sup>-1</sup>
吸収線量, 比エネルギー分与, カーマ	グレイ	Gy	J/kg	m <sup>2</sup> s <sup>-2</sup>
線量当量, 周辺線量当量, 方向性線量当量, 個人線量当量	シーベルト <sup>(g)</sup>	Sv	J/kg	m <sup>2</sup> s <sup>-2</sup>
酸素活性化	カタール	kat		s <sup>-1</sup> mol

(a) SI接頭語は固有の名称と記号を持つ組立単位と組み合わせても使用できる。しかし接頭語を付した単位はもはやコヒーレントではない。  
 (b) ラジアンとステラジアンは数字の1に対する単位の特別な名称で、量についての情報をつたえるために使われる。実際には、使用する時には記号rad及びsrが用いられるが、習慣として組立単位としての記号である数字の1は明示されない。  
 (c) 測光学ではステラジアンという名称と記号srを単位の表し方の中に、そのまま維持している。  
 (d) ヘルツは周期現象についてのみ、ベクレルは放射性核種の統計的過程についてのみ使用される。  
 (e) セルシウス度はケルビンの特別な名称で、セルシウス温度を表すために使用される。セルシウス度とケルビンの単位の間には1:1の関係がある。したがって、温度差や温度間隔を表す数値はどちらの単位で表しても同じである。  
 (f) 放射性核種の放射能 (activity referred to a radionuclide) は、しばしば誤った用語で"radioactivity"と記される。  
 (g) 単位シーベルト (PV, 2002, 70, 205) についてはCIPM勧告2 (CI-2002) を参照。

表4. 単位の中に固有の名称と記号を含むSI組立単位の例

組立量	SI 組立単位		
	名称	記号	SI 基本単位による表し方
粘力のモーメント	パスカル秒	Pa s	m <sup>-1</sup> kg s <sup>-1</sup>
表面張力	ニュートンメートル	N m	m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup>
角速度	ニュートン毎メートル	N/m	kg s <sup>-2</sup>
角加速度	ラジアン毎秒	rad/s	m m <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup> = s <sup>-1</sup>
熱流密度, 放射照度	ラジアン毎秒毎秒	rad/s <sup>2</sup>	m m <sup>-1</sup> s <sup>-2</sup> = s <sup>-2</sup>
熱容量, エントロピー	ワット毎平方メートル	W/m <sup>2</sup>	kg s <sup>-3</sup>
比熱容量, 比エントロピー	ジュール毎ケルビン	J/K	m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup>
比エネルギー	ジュール毎キログラム毎ケルビン	J/(kg K)	m <sup>2</sup> s <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup>
熱伝導率	ジュール毎キログラム	J/kg	m <sup>2</sup> s <sup>-2</sup>
体積エネルギー	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m K)	m kg s <sup>-3</sup> K <sup>-1</sup>
電界の強さ	ジュール毎立方メートル	J/m <sup>3</sup>	m <sup>-1</sup> kg s <sup>-2</sup>
電荷密度	ジュール毎立方メートル	J/m <sup>3</sup>	m kg s <sup>-3</sup> A <sup>-1</sup>
電表面電荷	クーロン毎立方メートル	C/m <sup>3</sup>	m <sup>-3</sup> s A
電束密度, 電気変位	クーロン毎平方メートル	C/m <sup>2</sup>	m <sup>-2</sup> s A
誘電率	クーロン毎平方メートル	C/m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup> s A
透磁率	ファラド毎メートル	F/m	m <sup>3</sup> kg <sup>-1</sup> s <sup>4</sup> A <sup>2</sup>
モルエネルギー	ヘンリー毎メートル	H/m	m kg s <sup>-2</sup> A <sup>-2</sup>
モルエントロピー, モル熱容量	ジュール毎モル	J/mol	m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup> mol <sup>-1</sup>
照射線量 (X線及びγ線)	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol K)	m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> mol <sup>-1</sup>
吸収線量率	クーロン毎キログラム	C/kg	kg <sup>-1</sup> s A
放射線強度	グレイ毎秒	Gy/s	m <sup>2</sup> s <sup>-3</sup>
放射輝度	ワット毎ステラジアン	W/sr	m <sup>4</sup> m <sup>-2</sup> kg s <sup>-3</sup> = m <sup>2</sup> kg s <sup>-3</sup>
酵素活性濃度	ワット毎平方メートル毎ステラジアン	W/(m <sup>2</sup> sr)	m <sup>2</sup> m <sup>-2</sup> kg s <sup>-3</sup> = kg s <sup>-3</sup>
	カタール毎立方メートル	kat/m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> mol

表5. SI 接頭語

乗数	名称	記号	乗数	名称	記号
10 <sup>24</sup>	ヨタ	Y	10 <sup>1</sup>	デシ	d
10 <sup>21</sup>	ゼタ	Z	10 <sup>2</sup>	センチ	c
10 <sup>18</sup>	エクサ	E	10 <sup>3</sup>	ミリ	m
10 <sup>15</sup>	ペタ	P	10 <sup>6</sup>	マイクロ	μ
10 <sup>12</sup>	テラ	T	10 <sup>9</sup>	ナノ	n
10 <sup>9</sup>	ギガ	G	10 <sup>12</sup>	ピコ	p
10 <sup>6</sup>	メガ	M	10 <sup>-15</sup>	フェムト	f
10 <sup>3</sup>	キロ	k	10 <sup>-18</sup>	アト	a
10 <sup>2</sup>	ヘクト	h	10 <sup>-21</sup>	ゼプト	z
10 <sup>1</sup>	デカ	da	10 <sup>-24</sup>	ヨクト	y

表6. SIに属さないが、SIと併用される単位

名称	記号	SI単位による値
分	min	1 min=60 s
時	h	1 h=60 min=3600 s
日	d	1 d=24 h=86 400 s
度	°	1°=(π/180) rad
分	'	1'=(1/60)°=(π/10 800) rad
秒	"	1"=(1/60)'=(π/648 000) rad
ヘクタール	ha	1 ha=1 hm <sup>2</sup> =10 <sup>4</sup> m <sup>2</sup>
リットル	L, l	1 L=1 l=1 dm <sup>3</sup> =10 <sup>3</sup> cm <sup>3</sup> =10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup>
トン	t	1 t=10 <sup>3</sup> kg

表7. SIに属さないが、SIと併用される単位で、SI単位で表される数値が実験的に得られるもの

名称	記号	SI単位で表される数値
電子ボルト	eV	1 eV=1.602 176 53(14)×10 <sup>-19</sup> J
ダルトン	Da	1 Da=1.660 538 86(28)×10 <sup>-27</sup> kg
統一原子質量単位	u	1 u=1 Da
天文単位	ua	1 ua=1.495 978 706 91(6)×10 <sup>11</sup> m

表8. SIに属さないが、SIと併用されるその他の単位

名称	記号	SI単位で表される数値
バール	bar	1 bar=0.1MPa=100 kPa=10 <sup>5</sup> Pa
水銀柱ミリメートル	mmHg	1 mmHg=133.322Pa
オングストローム	Å	1 Å=0.1nm=100pm=10 <sup>-10</sup> m
海里	M	1 M=1852m
バイン	b	1 b=100fm <sup>2</sup> =(10 <sup>12</sup> cm <sup>2</sup> ) <sup>2</sup> =10 <sup>-28</sup> m <sup>2</sup>
ノット	kn	1 kn=(1852/3600)m/s
ネーパ	Np	SI単位との数値的関係は、 対数量の定義に依存。
ベレル	B	
デシベル	dB	

表9. 固有の名称をもつCGS組立単位

名称	記号	SI単位で表される数値
エルグ	erg	1 erg=10 <sup>-7</sup> J
ダイン	dyn	1 dyn=10 <sup>-5</sup> N
ポアズ	P	1 P=1 dyn s cm <sup>-2</sup> =0.1Pa s
ストークス	St	1 St=1cm <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> =10 <sup>-4</sup> m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup>
スチルブ	sb	1 sb=1cd cm <sup>-2</sup> =10 <sup>4</sup> cd m <sup>-2</sup>
フォト	ph	1 ph=1cd sr cm <sup>-2</sup> =10 <sup>4</sup> lx
ガリ	Gal	1 Gal=1cm s <sup>-2</sup> =10 <sup>-2</sup> ms <sup>-2</sup>
マクスウェル	Mx	1 Mx=1 G cm <sup>2</sup> =10 <sup>-8</sup> Wb
ガウス	G	1 G=1Mx cm <sup>-2</sup> =10 <sup>-4</sup> T
エルステッド <sup>(a)</sup>	Oe	1 Oe <sub>e</sub> =(10 <sup>3</sup> /4π)A m <sup>-1</sup>

(a) 3元系のCGS単位系とSIでは直接比較できないため、等号「△」は対応関係を示すものである。

表10. SIに属さないその他の単位の例

名称	記号	SI単位で表される数値
キュリー	Ci	1 Ci=3.7×10 <sup>10</sup> Bq
レントゲン	R	1 R=2.58×10 <sup>-4</sup> C/kg
ラド	rad	1 rad=1cGy=10 <sup>-2</sup> Gy
レム	rem	1 rem=1 cSv=10 <sup>-2</sup> Sv
ガンマ	γ	1 γ=1 nT=10 <sup>-9</sup> T
フェルミ	f	1 フェルミ=1 fm=10 <sup>-15</sup> m
メートル系カラット		1 メートル系カラット=0.2 g=2×10 <sup>-4</sup> kg
トル	Torr	1 Torr=(101 325/760) Pa
標準大気圧	atm	1 atm=101 325 Pa
カロリ	cal	1 cal=4.1858J (「15°C」カロリ), 4.1868J (「IT」カロリ), 4.184J (「熱化学」カロリ)
マイクロン	μ	1 μ=1μm=10 <sup>-6</sup> m

