

建設技術研究開発費補助金総合研究報告書

1. 課題番号 第9号
2. 研究課題名 がれき残渣の有効活用によるアップサイクルブロックの開発
3. 研究期間 平成23年度～平成24年度
4. 代表者名及び研究代表者、共同研究者

表-4.1 研究代表者・共同研究者一覧

	氏名	所属機関・職名
代表者	加納 敏行	(財)先端建設技術センター 常任参与兼企画部長
研究代表者	加納 敏行	(財)先端建設技術センター 常任参与兼企画部長
共同研究者	須藤 泰幸	(財)先端建設技術センター 企画部 参事
	東出 成記	(財)先端建設技術センター 研究第二部兼研究第一部長
	真田 道夫	(財)先端建設技術センター 企画部兼研究第二部 次長
	新妻 弘章	(財)先端建設技術センター 企画部 上席参事
	富岡 美樹	(財)先端建設技術センター 研究第一部主任研究員
	浜井 邦彦	(株)大林組 土木本部生産技術本部土工技術部 部長
	森田 晃司	(株)大林組 土木本部生産技術本部土工技術部 課長
	竹田 宣典	(株)大林組 技術本部技術研究所生産技術研究部 上席研究員
	川西 貴士	(株)大林組 技術本部技術研究所生産技術研究部 副主任研究員
	千野 裕之	(株)大林組 技術本部技術研究所環境技術研究部 主任技師
	田島 孝敏	(株)大林組 技術本部技術研究所環境技術研究部 主任研究員
	山本 彰	(株)大林組 技術本部技術研究所地盤技術研究部 部長
	山田 祐樹	(株)大林組 技術本部技術研究所地盤技術研究部 主任研究員
	田中 淳一	(株)熊谷組 技術研究所建設技術研究部 副部長
	五十嵐 寛昌	鹿島建設(株) 土木管理本部土木技術部 グループ長(担当部長)
	井尻 裕二	大成建設(株) 原子力本部原子力技術第三部 部長
長峰 春夫	大成建設(株) 原子力本部原子力技術第三部 課長	
芳岡 良一	清水建設(株) 土木技術本部ダム統括部 担当部長	

5. 補助金交付総額 16,530,000 円

6. 研究・技術開発の目的

地震や津波等で大量に発生したがれきのうち、選別・分級してもリサイクルできない残渣を有効活用し、かつ重金属類などの有害物質が溶出しない建設資材“アップサイクルブロック”（二次製品ブロック、盛土用ブロック）を製造する技術を開発する。

従来、このような残渣は焼却不適物を除去した上で焼却し、焼却後の残渣を最終処分場に埋立て処分していた。当技術開発により、復興事業の建設資材を製造するとともに、最終処分場の容量不足を解消し、がれき残渣の処理コスト縮減も達成させる。

■適用場所

- ・盛土材（道路盛土、避難高台、防潮堤、河川堤防など）
- ・コンクリート二次製品（無筋）

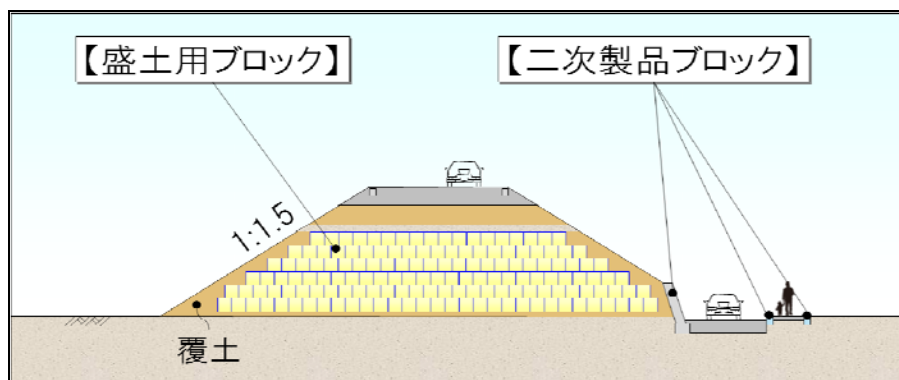


図-6.1 道路盛土への適用イメージ

■対象とするがれき残渣



写真-6.1 使用したがれき残渣

- ・重金属をはじめとする有害物質が含まれていないがれき残渣
- ・コンクリートガラ、木材、ゴム、金属類、プラスチック、土石、瓦等が混入したもの（粒径 150mm 以下、仙台市若林区荒浜搬入場にて採取）

7. 研究・技術開発の内容と成果

7.1 研究開発の目標と達成度

表 7.1.1 開発目標に関する達成度

申請時の開発目標	達成度
アップサイクルブロックの配合、製造方法を確立するとともに、開発技術の信頼性を実証する。	<ul style="list-style-type: none"> ・仙台市から入手したがれき残渣について、配合、製造方法を確立した。 ・出来形、強度を全数確認することで開発技術の信頼性を実証できた。
重金属類など有害物質の不溶化技術を確立するとともに、開発技術の信頼性を実証する。	<ul style="list-style-type: none"> ・セメント固化することで重金属類を概ね不溶化できた。 ・多数の実験データを得ることで開発技術の信頼性を実証できた。

表 7.1.2 技術の目標性能に関する達成度

区分	申請時の目標性能	達成度
物理特性	外圧に抵抗できる強度を有すること <ul style="list-style-type: none"> ・二次製品ブロック； 曲げ強度が JIS 規定値を満足 ・盛土用ブロック； 圧縮強度 1N/mm² 程度 	達成できた <ul style="list-style-type: none"> ・二次製品ブロック； 曲げ強度が JIS 規定値を概ね満足 ・盛土用ブロック； 圧縮強度 2.3N/mm² 以上
	大量のがれき残渣を活用できること 【がれき残渣混入率（重量比）】 <ul style="list-style-type: none"> ・二次製品ブロック；50%程度 ・盛土用ブロック；50%程度 	達成できた 【がれき残渣混入率（重量比）】 <ul style="list-style-type: none"> ・二次製品ブロック；40%程度 ・盛土用ブロック；70%程度
化学特性	重金属類などの有害物質の溶出を防止できること	達成できた <ul style="list-style-type: none"> ・鉛以外の重金属類について、溶出量を環境基準以下の水準にまで不溶化できた ・鉛について、溶出量を環境基準に近い水準にまで不溶化できた

7.2 研究開発の実施内容

研究開発項目は、以下の2項目である。

- 配合・製造技術の開発
- 有害物質不溶化技術の開発

7.2.1 配合・製造技術の開発

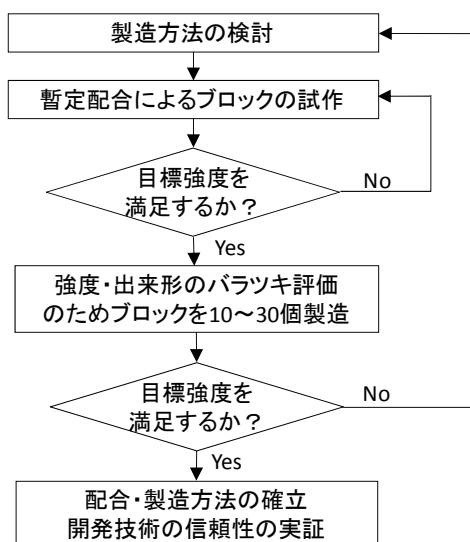


図 7.2.1-1 配合・製造技術確立までのフロー

表 7.2.1-1 計画と実施の比較【二次製品ブロック】

項目	申請時の計画	実施
ブロックのタイプ	・地先境界ブロック ・歩車道境界ブロック	左記計画のとおり
製造数量	30個×2タイプ=60個	左記計画のとおり
強度の確認	確認方法：曲げ強度試験 σ_7 確認数量：60個（全数） 規格値：JIS 規定値	左記計画のとおり
出来形の確認	確認方法：各辺における実測 確認数量：60個（全数） 規格値：JIS 規定値	左記計画のとおり
単位容積質量の確認	計画なし	確認方法：質量計測と容積実測による 確認数量：60個（全数）

表 7.2.1-2 計画と実施の比較【盛土用ブロック】

項目	申請時の計画	実施
製造数量	10個	左記計画のとおり
強度の確認	確認方法：圧縮強度試験 σ_7 確認数量：10個(全数)×3=30個 目標値：1N/mm ²	確認方法：圧縮強度試験 σ_7 、 σ_{28} 確認数量：10個(全数)×3×2=60個 目標値：1N/mm ²
出来形の確認	確認方法：各辺における実測 確認数量：10個（全数）	左記計画のとおり
湿潤密度の確認	計画なし	60個（圧縮強度試験コアで測定）

7.2.2 有害物質不溶化技術の開発

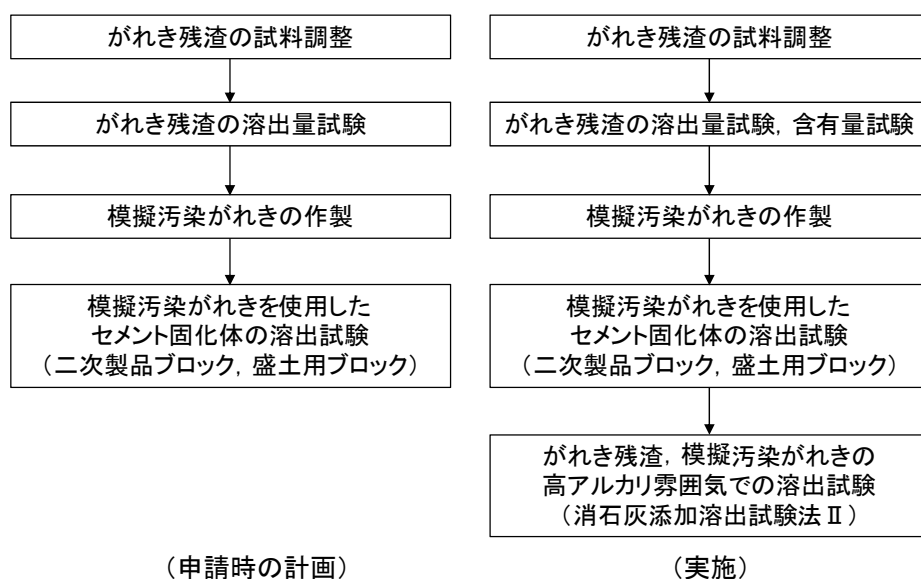


図 7.2.2-1 開発フローの比較

表 7.2.2-1 計画と実施の比較

項目	申請時の計画	実施
がれき残渣の溶出試験	重金属 9 項目対象の環告 46 号試験 1 検体×がれき 3 種=3 検体	左記計画のとおり
がれき残渣の含有量試験	計画なし	重金属 9 項目対象の環告 19 号試験 1 検体×がれき 3 種=3 検体
模擬汚染がれき作製のための事前試験	重金属 9 項目対象の環告 46 号試験 1 検体×6 濃度×がれき 3 種=18 検体	左記計画のとおり
模擬汚染がれきの溶出試験	重金属 9 項目対象の環告 46 号試験 1 検体×3 濃度×がれき 3 種=9 検体	左記計画のとおり
模擬汚染がれきを使用した二次製品ブロックの溶出試験	重金属 9 項目対象の環告 46 号試験 1 検体×3 濃度×がれき 3 種=9 検体	左記計画のとおり
模擬汚染がれきを使用した盛土用ブロックの溶出試験	重金属 9 項目対象の環告 46 号試験 1 検体×3 濃度×がれき 3 種=9 検体	左記計画のとおり
がれき残渣の高アルカリ雰囲気での溶出試験	計画なし	鉛対象の消石灰添加溶出試験Ⅱ 1 検体×3 濃度×がれき 3 種=9 検体
模擬汚染がれきの高アルカリ雰囲気での溶出試験	計画なし	重金属 9 項目対象の消石灰添加溶出試験Ⅱ 1 検体×3 濃度×がれき 3 種=9 検体

7.3 研究開発の成果

【目次】

7.3.1 配合・製造技術の開発【二次製品ブロック】	・・・8
7.3.1.1 がれき残渣の組成および物性	・・・8
7.3.1.2 配合の選定	・・・10
(1) 実験概要	・・・10
(2) 実験結果および考察	・・・14
7.3.1.3 出来形および曲げ強度のばらつきの検証実験	・・・16
(1) 実験概要	・・・16
(2) 実験結果および考察	・・・22
7.3.1.4 まとめ	・・・48
7.3.1.5 今後の課題と解決策	・・・48
(1) 実験結果から明らかとなった課題と解決策	・・・48
(2) その他の課題	・・・48
7.3.2 配合・製造技術の開発【盛土用ブロック】	・・・49
7.3.2.1 がれき残渣の物性	・・・49
(1) 概要	・・・49
(2) 基本物性試験結果	・・・53
7.3.2.2 配合の選定	・・・54
(1) 配合決定の流れ	・・・54
(2) 選定試験方法	・・・55
(3) 試験ケース	・・・59
(4) 選定試験結果	・・・60
7.3.2.3 出来形および圧縮強度のばらつきの検証実験	・・・61
(1) 実験概要	・・・61
(2) 検証実験結果	・・・63
7.3.2.4 ブロック積上げ実験	・・・111
(1) 実験概要	・・・111
(2) 実験結果	・・・112
7.3.2.5 まとめ	・・・119
7.3.2.6 今後の課題と解決策	・・・121
(1) 今後の課題	・・・121
(2) 解決策	・・・121

7.3.3 不溶化技術の開発	・ ・ ・ 122
7.3.3.1 開発の流れ	・ ・ ・ 122
7.3.3.2 試験方法	・ ・ ・ 123
(1) 対象物質について	・ ・ ・ 123
(2) 環境庁告示 46 号溶出試験	・ ・ ・ 125
7.3.3.3 がれき残渣の溶出特性	・ ・ ・ 126
(1) がれき残渣の調整	・ ・ ・ 126
(2) 含有量・溶出量試験	・ ・ ・ 128
7.3.3.4 模擬汚染がれきを用いた溶出実験	・ ・ ・ 132
(1) 模擬汚染がれき作製のための物質添加量の設定	・ ・ ・ 133
(2) 二次製品ブロックの溶出実験	・ ・ ・ 139
(3) 盛土用ブロックの溶出実験	・ ・ ・ 147
7.3.3.5 高アルカリ雰囲気下による溶出試験（消石灰添加溶出試験Ⅱ）	・ 155
(1) 消石灰添加溶出試験Ⅱとは	・ ・ ・ 155
(2) がれき残渣の溶出試験	・ ・ ・ 156
(3) 鉛に着目した模擬汚染がれきの溶出試験	・ ・ ・ 157
7.3.3.6 鉛の溶出状況と存在形態について	・ ・ ・ 159
7.3.3.7 まとめ	・ ・ ・ 160
7.3.3.8 今後の課題と対応策	・ ・ ・ 160
7.3.4 実用化に向けた今後の課題	・ ・ ・ 161

7.3.1 配合・製造技術の開発【二次製品ブロック】

7.3.1.1 がれき残渣の組成および物性

実験には、多種の物質が混合されており、リサイクル困難ながれき残渣を対象とし、仙台市よりがれき残渣を入手して使用した。入手したのがれき残渣は、大きいもので10cmを超える材料が混合されていたため、粒径40mm以下に1次粉砕して使用した。実験に使用したのがれき残渣を写真7.3.1.1-1に示す。



写真 7.3.1.1-1 実験に使用した1次粉砕後のがれき残渣

がれき残渣に含まれる材料の組成を調べるために、材料ごとに選別し、重量割合で整理したものを図7.3.1.1-1に示す。石、コンクリートおよびレンガ・瓦で7割以上を占めており、密度の軽い木片やプラスチックは数%であった。

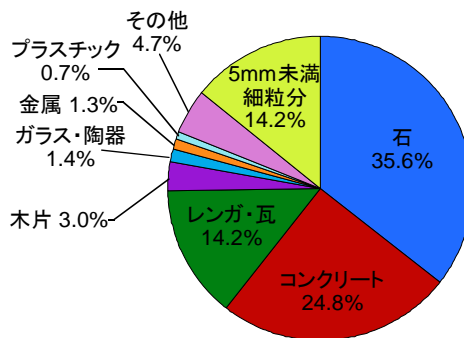


図 7.3.1.1-1 がれき残渣の組成 (重量割合)

がれき残渣の密度を JIS A 1110 に準拠し、水中重量を測定することにより算出した。実際にはがれき残渣をブロック製品に適用する場合、水分調整は行わず、気乾状態で使用することを想定して、事前に吸水せずに測定を行った。木片など、水より密度の軽いものも含まれているため、金属製の蓋を重りとして載せた状態で水中重量を測定した。がれきの気乾密度の測定結果を表 7.3.1.1-1 に示す。

表 7.3.1.1-1 がれき残渣の気乾密度測定結果

試料 No.	気乾状態における試料の質量 m_1 (g)	試料と金網かごと蓋の水中の見掛けの質量 m_2 (g)	金網かごと蓋の水中の見掛けの質量 m_3 (g)	試験温度における水の密度 ρ_w (g)	気乾密度 D (g/cm ³)
1回目	2000.0	1881.8	814.8	0.9982	2.14
2回目	2000.0	1842.4	814.8	0.9982	2.05
平均					2.10

実験に使用したのがれき残渣を 40mm、20mm、10mm および 5mm のふるいを用いてふるい分けを行い、重量割合を測定した。重量割合から算出したがれき残渣の粒度分布を図 7.3.1.1-2 に示す。40mm～20mm に含まれるものが 6 割以上を占めていた。また、土や砂など、5mm 以下の細粒分が 14%程度含まれていた。

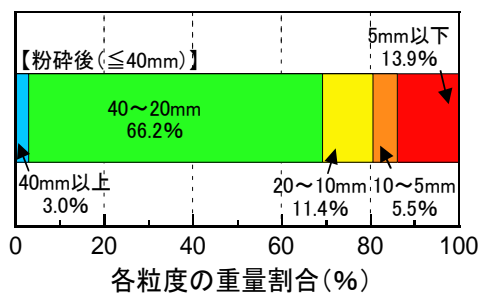


図 7.3.1.1-2 がれき残渣の粒度分布

7.3.1.2 配合の選定

搬入されたがれき残渣は、5mm以下の細粒分が多く含まれていたため、曲げ強度の低下が懸念された。そこで、実験に用いるモルタルの配合を選定するために、水セメント比、細骨材セメント比およびモルタルの混合割合を変化させたブロックを試作し、曲げ強度試験を行った。また、水セメント比を低減すると、モルタルのフローが大きくなり、形状の安定性が確保されない可能性が懸念されるため、寸法の測定も併せて行った。

(1) 実験概要

1) 実験ケース

モルタルの配合の選定は、下記のような評価指標に着目して行った。また、その評価指標を満足する配合を選定するために、下記のようなパラメータにて実験を行った。

【評価指標】

- ・練混ぜ性能：モルタルの練混ぜが可能であるか。また、練混ぜ時間が過大とならないか。
- ・曲げ強度荷重：極端に低い値でないか。
- ・形状安定性：ブロックに求められる寸法の許容差を満足するか。

【パラメータ】

- ・水セメント比：30%、25%および23%
- ・細骨材セメント比：2.0 および 2.5

【試作したブロック】

- JIS A 5371 道路境界ブロックのうち、
- ・附属書 4 地先境界ブロック A：幅 120mm×高さ 120mm×長さ 600mm

2) 使用材料

実験に用いた材料を表 7.3.1.2-1 に示す。セメントには、有害物質の溶出を抑制する観点から高炉セメント B 種を使用した。がれき残渣には、7.3.1.1 に示した物性のもを使用した。

表 7.3.1.2-1 使用材料

項目	記号	品名	品質
セメント	C	高炉セメントB種	密度3.04g/cm ³
細骨材	S	砂	表乾密度2.66g/cm ³
がれき	G	仙台市から入手したがれき 粒径40mm以下に1次破碎して使用	気乾密度2.10g/cm ³
混和剤	SP	高性能減水剤	ポリカルボン酸系化合物

3) 配合

ブロックの製造に用いる材料の配合を表 7.3.1.2-2 に示す。今までに得られている知見*から、ブロックの出来ばえ（モルタルの充填具合、表面の平滑度 等）を考慮して、モルタルとがれき残渣の混合割合は容積比で 6 : 4 とした。

表 7.3.1.2-2 ブロックの製造に用いる材料の配合

水セメント比 W/C (%)	細骨材 セメント比 S/C	単位量 (kg/m ²)				混和剤 SP (Cx%)
		水 W	セメント C	細骨材 S	がれき G	
30.0	2.0	130	434	869	840	0.70
	2.5	115	383	957	840	0.80
25.0	2.0	113	451	901	840	1.80
	2.5	99	395	989	840	2.20
23.0	2.0	105	458	916	840	2.70
	2.5	92	400	1001	840	3.60

* (参考文献) 加納他：アップサイクルブロックの実用化に向けてーがれき残渣の有効活用ー, 土木施工, VOL.53, No.3, pp.9-13, 2012.3

4) ブロックの製造方法

ブロックの製造方法を下記に示す。がれき残渣は、表乾状態ではなく、含水率のばらつきも大きいため、先行してモルタルの練混ぜを行い、練り上がったモルタルとがれき残渣とを混合して製造した。モルタルおよびブロック用の材料の練混ぜは、パン型のみキサーを用いて行い、練混ぜ量は50Lとした。

練り上がった材料は、振動台の上に固定された型枠内に投入し、振動を作用させながら加圧（バイコンシステム）することにより、締固めおよび成形を行った。型枠を取りはずした後、硬化を促進させるために、2日間の蒸気養生を行った。

【材料の製造】

- ①材料の計量（水、混和剤、セメント、細骨材、がれき残渣）
- ②細骨材とセメントを投入し、空練り
- ③水と混和剤を投入
- ④モルタルの練混ぜ（均一に練り上がるまで、各配合で時間を調整）
- ⑤練り上がったモルタルにがれき残渣を投入
- ⑥モルタルとがれき残渣の練混ぜ
- ⑦排出

【ブロックの製造】

- ⑧材料を運搬
- ⑨型枠内に材料の投入
- ⑩締固め（振動＋加圧）
- ⑪成形完了
- ⑫運搬
- ⑬型枠の取りはずし
- ⑭製造完了
- ⑮蒸気養生（50℃で2日間）

5) 確認項目

予備実験にて確認する項目を下記に示す。モルタルの練混ぜ時間は、均一に練り混ぜるために必要な時間を目視で確認した。モルタルのフロー値は、JIS R 5201に規定されているフロー試験に準拠して実施した。

ブロックの寸法については、JIS A 5371に規定されている項目について計測を行った。JISに規定されている許容差を表 7.3.1.2-3に示す。

曲げ強度試験は、JIS A 5371に準拠して行った。曲げ強度試験の概要を図 7.3.1.2-1に示す。JISに規定されている地先境界ブロック A の曲げ強度荷重の基準値は 6.5kN である。

- ・モルタルの練混ぜ時間 (分)
- ・モルタルのフロー値 (mm)
- ・各種寸法 (上面の幅 a、底面の幅 b、高さ h、長さ l) (mm)
- ・曲げ強度荷重 (kN)

表 7.3.1.2-3 ブロックの寸法および許容差 (JIS A 5371 より抜粋)

種類	種類		上面の幅		底面の幅		高さ		r	長さ		
	略号	呼び	a	許容差	b	許容差	h	許容差		l	許容差	
片面歩車道 境界ブロック	片	A	150	±2	170	±3	200	±3	20	(2)	(2)	
		B	180		205		250			30	600	±3
		C			210		300					
両面歩車道 境界ブロック	両	A	150	±2	190	±3	200	±3	20	(2)	(2)	
		B	180		230		250			30	600	±3
		C			240		300					
地先 境界ブロック	地	A	120	±2	120	±2	120	±3	—	600	±3	
		B	150		150							
		C								150		

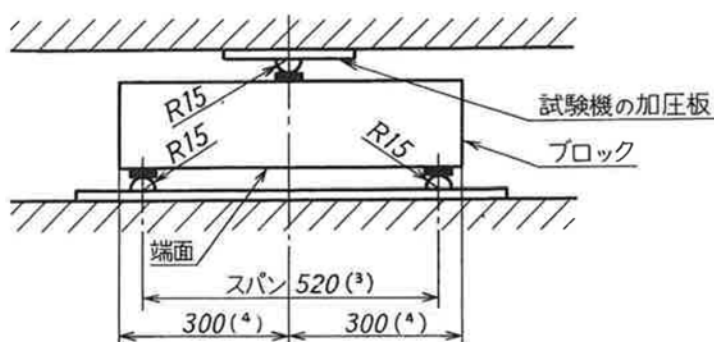


図 7.3.1.2-1 曲げ強度試験の概要 (JIS A 5371 より抜粋)

(2) 実験結果および考察

モルタルの練混ぜ時間、モルタルのフロー値の測定結果、曲げ強度試験結果および寸法測定結果の一覧を表 7.3.1.2-4 に示す。また、ブロックの製造状況を写真 7.3.1.2-1 に示す。

水セメント比 23%の配合と水セメント比 25%で細骨材セメント比 2.5 の配合は、モルタルを均一に練り混ぜるために必要な時間が 7 分～9 分となり、練混ぜに長い時間を要する結果であった。

曲げ強度荷重については、水セメント比を変化させても顕著な差異は認められなかった。いずれの配合も JIS 規格に規定されている基準値程度の荷重が得られた。

ブロックの寸法については、高さ (h) は減少し、長さ (l) は増加する傾向が認められた。モルタルのフロー値が大きい配合ほど変形しやすい結果であった。形状を安定させるためには、フロー値の 15 打を 150mm 以下にすることが望ましい。細骨材セメント比 2.5 で水セメント比 25%および 23%の配合については、地先境界ブロック A については、許容差の範囲に収まったが、側面部のはらみが認められたため、寸法の大きい片面歩車道境界ブロック C の製造においては、許容差を逸脱する可能性が高い。

また、水セメント比 30%で細骨材セメント比 2.0 の配合は、長さ (l) が 604mm で 1mm 許容差を超える結果であったが、モルタルのフロー値の 15 打を 150mm 以下に調整することで許容差を満足するものとする。

練混ぜ性能、曲げ強度および形状安定性の 3 つの指標で各配合を評価した結果を表 7.3.1.2-5 に示す。3 つの性能を総合的に評価すると、水セメント比 30%で細骨材セメント比を 2.0 の配合がブロックを製造する上で最も望ましい配合であると判断された。

表 7.3.1.2-4 試験結果の一覧

水セメント比 (%)	細骨材セメント比	モルタルの練混ぜ時間 (分)	品質試験結果 モルタルのフロー値 (mm)		寸法測定結果 ^{※2} (mm)				曲げ強度試験結果 ^{※1} 曲げ強度荷重 (kN)			
			0打	15打	a	b	h	l	①	②	③	平均
			30.0	2.0	2.0	110×110 (110)	200×190 (195)	120	120	120	604	8.3
	2.5	3.5	105×105 (105)	155×155 (155)	120	120	120	602	10.0	8.2	10.0	9.4
25.0	2.0	3.0	210×205 (208)	250×250 (250)	120	120	119	605	8.6	6.7	8.2	7.8
	2.5	8.0	100×100 (100)	145×140 (143)	120	120	120	603	10.2	10.6	10.0	10.3
23.0	2.0	7.0	175×165 (170)	220×215 (218)	121	122	117	605	—	—	—	—
	2.5	9.0	100×100 (100)	120×120 (120)	120	121	119	602	9.8	11.0	11.2	10.7

※1 JIS A 5371に規定されている基準値: 6.5kN

※2 JIS A 5371に規定されている許容差: a: ±2, b: ±2, h: ±3, l: ±3

細骨材セメント比	水セメント比 (%)											
	30				25				23			
	練混ぜ性能	形状安定性	曲げ強度	総合評価	練混ぜ性能	形状安定性	曲げ強度	総合評価	練混ぜ性能	形状安定性	曲げ強度	総合評価
2.0	◎	○	○	◎	○	△	○	△	△	△	—	△
2.5	○	○	○	○	△	△	○	△	△	△	○	△

(評価 ◎: 非常に良好, ○: 良好, △: 問題あり, —: 未確認)

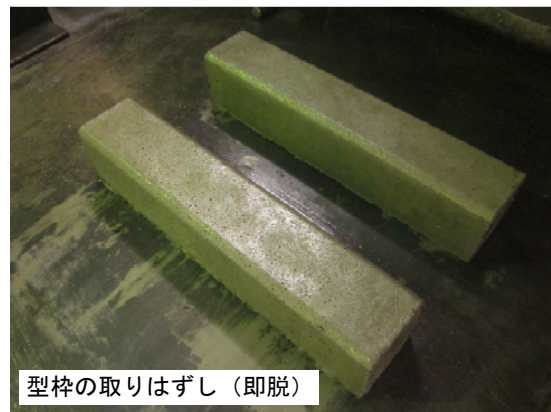
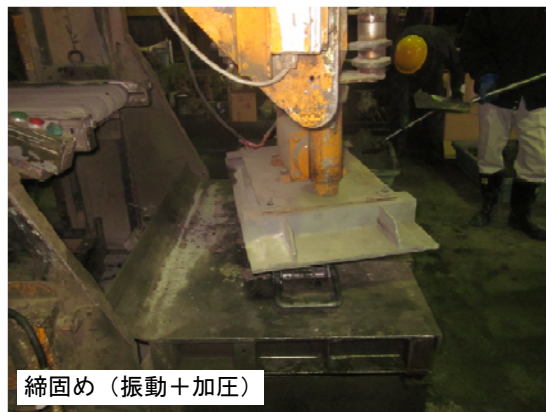


写真 7.3.1.2-1 ブロックの製造状況

7.3.1.3 出来形および曲げ強度のばらつきの検証実験

がれき残渣をブロックの骨材に適用するにあたって、出来形や曲げ強度荷重のばらつきがどの程度あるか確認する必要がある。そこで、7.3.1.2 の予備実験にて決定した配合にて、30体のブロックの試作を行い、曲げ強度荷重および出来形の計測を実施し、データのばらつきを統計的に確認した。

(1) 実験概要

1) 製造したブロックの種類

製造したブロックは、JIS A 5371 附属書 4 に規定されている道路境界ブロックとした。がれき残渣の粒径 40mm に対して 3 倍の寸法に相当する地先境界ブロック A (以下、地先 A と呼称) と 5 倍の寸法に相当する片面歩車道境界ブロック C (以下、片歩 C と呼称) の 2 種類を製造した。両ブロック製品の仕様を下記に示す。また、同仕様の従来製品の外観を写真 7.3.1.3-1 に示す。

【地先 A】幅 120mm×高さ 120mm×長さ 600mm

【片歩 C】(上面の幅 180mm、底面の幅 210mm) ×高さ 300mm×長さ 600mm



写真 7.3.1.3-1 従来製品の外観 (JIS A 5347 規格品)

2) 使用材料

実験に使用した材料は、7.3.1.2と同じとし、セメントには高炉セメントB種を使用し、がれき残渣には粒径40mm以下に1次破碎したものを使用した。使用材料を表7.3.1.3-1に示す。

表 7.3.1.3-1 使用材料

項目	記号	品名	品質
セメント	C	高炉セメントB種	密度3.04g/cm ³
細骨材	S	砂	表乾密度2.66g/cm ³
がれき	G	仙台市から入手したがれき 粒径40mm以下に1次破碎して使用	気乾密度2.10g/cm ³
混和剤	SP	高性能減水剤	ポリカルボン酸系化合物

3) 配合

実験に用いた材料の配合は、水セメント比を30%、細骨材セメント比を2.0とし、モルタルとがれき残渣の混合割合は容積比で6:4とした。配合を表7.3.1.3-2に示す。混和剤の添加率は、モルタルのフロー値の15打を150mm以下とするために、C×0.5%とした。

表 7.3.1.3-2 ブロックに用いた材料の配合

水セメント比 W/C (%)	細骨材 セメント比 S/C	単位量 (kg/m ³)				混和剤 SP (C×%)
		水 W	セメント C	細骨材 S	がれき G	
30.0	2.0	130	434	869	840	0.50

4) ブロックの製造方法

ブロックの製造方法は、下記に示すとおりとした。モルタルおよびモルタルとがれき残渣の練混ぜは、パン型のみキサーを用いて行い、練混ぜ量は50Lとした。

練り上がった材料は、振動台の上に固定された型枠内に投入し、振動を作用させながら加圧（バイコン）することにより、締固めおよび成形を行った。ブロック用材料の練混ぜ状況を写真 7.3.1.3-2 に示す。また、ブロックの製造状況を写真 7.3.1.3-3 に示す。

【材料の製造】

- ①材料の計量（水、混和剤、セメント、細骨材、がれき残渣）
- ②細骨材とセメントを投入し、空練り
- ③水と混和剤を投入
- ④モルタルの練混ぜ
- ⑤練り上がったモルタルにがれき残渣を投入
- ⑥モルタルとがれき残渣の練混ぜ
- ⑦排出

【ブロックの製造】

- ⑧材料を運搬
- ⑨型枠内に材料の投入
- ⑩締固め（振動＋加圧）
- ⑪成形完了
- ⑫運搬
- ⑬型枠の取りはずし
- ⑭製造完了
- ⑮蒸気養生（50℃で2日間）



①計量



②セメント・細骨材投入



③水・混和剤投入



④モルタル練混ぜ



⑤がれき投入



⑥モルタルとがれきの練混ぜ



⑦排出

写真 7.3.1.3-2 ブロック用材料の練混ぜ状況



写真 7.3.1.3-3 ブロックの製造状況

5) 確認項目

- ・モルタルのフロー値 : JIS R 5201 に規定されているフロー試験に準拠して実施した。
1 バッチ目のモルタルが練り上がった段階で、がれき残渣を投入する前に試料を採取して試験を実施した。
- ・練上り温度 : JIS A 1156 に準拠し、モルタルのフロー値と併せて測定した。
- ・寸法 : JIS A 5371 に規定されている部位について寸法を測定した。
表 7.3.1.3-3 に寸法の許容差を示す。
- ・単位容積質量 : ブロックの重量を測定し、上記寸法結果より算出した容積で除して算出した。
- ・曲げ強度荷重 : JIS A 5371 に準拠して曲げ試験を実施した。試験の概要を図 7.3.1.3-1 に示す。JIS A 5371 に規定されている各ブロックの基準値は、下記のとおりである。
基準値 : (地先 A) 6.5kN
(片歩 C) 60kN

表 7.3.1.3-3 ブロック製品の寸法および許容差 (JIS A 5371 より抜粋)

種類	略号		上面の幅		底面の幅		高さ		r	長さ	
	略号	呼び	a	許容差	b	許容差	h	許容差		l	許容差
片面歩車道 境界ブロック	片	A	150	±2	170	±3	200	±3	20	(2)	(2)
		B	180		205		250		30	600	±3
		C			210		300				
両面歩車道 境界ブロック	両	A	150	±2	190	±3	200	±3	20	(2)	(2)
		B	180		230		250		30	600	±3
		C			240		300				
地先 境界ブロック	地	A	120	±2	120	±2	120	±3	—	600	±3
		B	150		150						
		C					150				

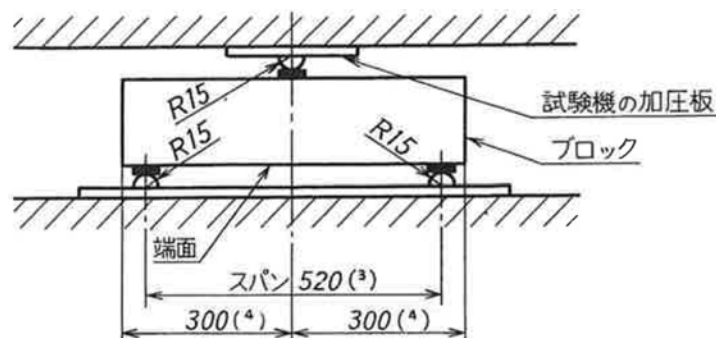


図 7.3.1.3-1 曲げ強度試験の概要 (JIS A 5371 より抜粋)

(2) 実験結果および考察

1) モルタルのフロー値

モルタルのフロー試験結果を表 7.3.1.3-4 に示す。また、測定状況を写真 7.3.1.3-4 に示す。2 日間にわたってブロックを製造したので、試験は 2 回実施した。モルタルのフロー値の 15 打は、いずれも 150mm 以下であった。

表 7.3.1.3-4 モルタルのフロー試験結果

実験日	モルタルのフロー値 (mm)	
	0打	15打
1日目 (5/28)	100×100 (100)	133×132 (133)
2日目 (5/29)	101×100 (101)	143×141 (142)

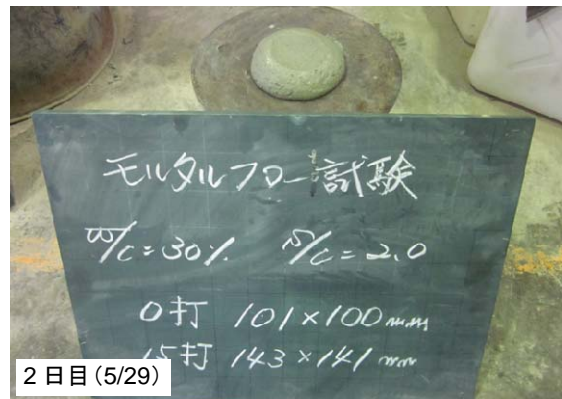
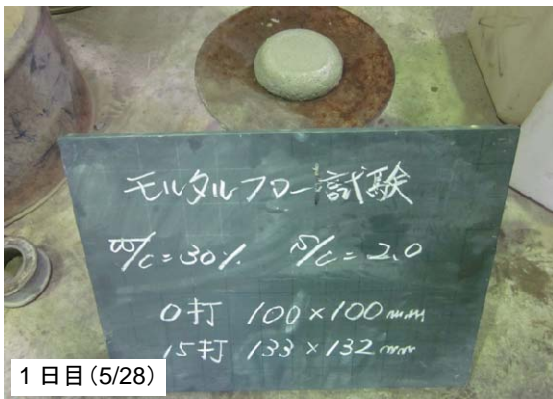
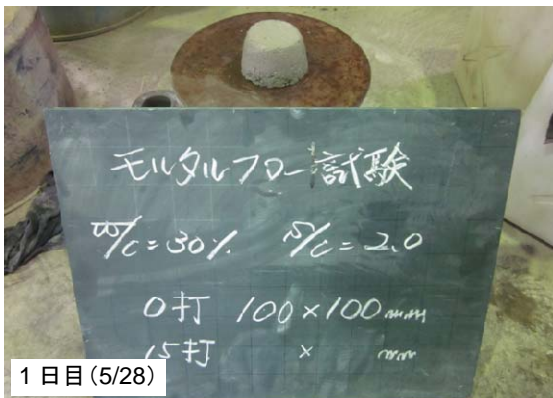


写真 7.3.1.3-4 モルタルのフロー試験結果

2) 練上り温度

練上り温度は、いずれも 15℃であった。測定状況を写真 7.3.1.3-5 に示す。

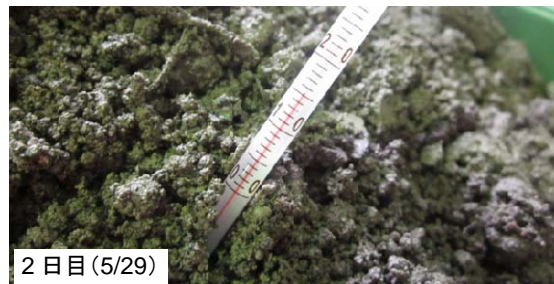
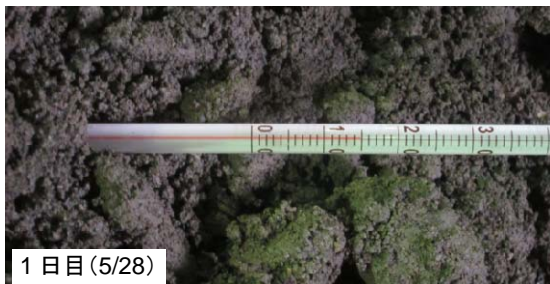


写真 7.3.1.3-5 練上り温度の測定状況

3) 出来形

出来形の測定結果の一覧を表 7.3.1.3-5 に示す。測定結果の棒グラフを図 7.3.1.3-2～図 7.3.1.3-3 に示す。ヒストグラムと確率密度を図 7.3.1.3-4～図 7.3.1.3-5 に示す。また、型枠を取りはずし後の状況を写真 7.3.1.3-6 に、製造完了後の全景を写真 7.3.1.3-7 に、および寸法の測定状況を写真 7.3.1.3-8～写真 7.3.1.3-9 に示す。

出来形については、いずれのブロックも JIS A 5371 に規定されている許容差を満足する結果であった。片歩 C の方が地先 A に比べて、ばらつきが大きい傾向を示した。片歩 C の方が、寸法が大きいので、変形しやすいものと思われる。地先 A と片歩 C の両者とも、幅に比べて高さや長さの方が、ばらつきが大きい結果であった。ブロックは、成形次第、型枠を反転させて即脱するため、高さや長さは重量の影響を受けやすく、変形しやすいものと考えられる。

表 7.3.1.3-5 実験結果の一覧

ブロック No.	地先A								片歩C								
	寸法				寸法計測 結果から 算出した 容積	質量	単位容 積質量	曲げ強 度荷重	寸法					寸法計測 結果から 算出した 容積	質量	単位容 積質量	曲げ強 度荷重
	上面の幅 a (mm)	底面の幅 b (mm)	高さ h (mm)	長さ l (mm)					上面の幅 a (mm)	底面の幅 b (mm)	高さ h (mm)	長さ l (mm)	面取り r (mm)				
1	120	120	120	602	8.633	18.90	2189	7.6	181	209	300	597	30	34.794	77.31	2222	80.0
	120	120	119	602					181	208	300	598	30				
2	120	120	120	602	8.615	18.95	2200	9.0	180	209	299	597	30	34.633	76.51	2209	82.0
	120	119	119	602					180	209	299	598	30				
3	119	119	118	602	8.529	18.90	2216	7.8	180	208	300	597	30	34.778	77.31	2223	77.5
	119	120	120	600					181	209	300	599	30				
4	120	119	120	601	8.572	19.15	2234	8.8	180	209	300	597	30	34.746	76.72	2208	72.5
	119	119	119	602					180	207	301	599	30				
5	120	120	119	603	8.604	18.96	2204	7.8	181	208	297	597	30	34.559	75.64	2189	72.5
	119	119	120	602					180	208	300	599	30				
6	119	120	120	600	8.579	19.03	2218	6.2	180	209	300	598	30	34.675	76.33	2201	84.5
	119	119	120	599					180	208	299	598	30				
7	119	120	119	602	8.579	18.90	2203	8.9	182	209	298	598	30	34.679	76.72	2212	79.0
	119	119	120	602					181	209	298	598	30				
8	119	119	120	603	8.611	19.04	2211	7.4	181	208	299	597	30	34.590	76.57	2214	79.0
	119	119	120	603					181	209	298	597	30				
9	119	119	119	602	8.536	18.98	2224	7.9	181	209	300	597	30	34.854	76.60	2198	83.0
	119	120	119	601					182	209	300	597	30				
10	119	120	120	600	8.593	19.06	2218	7.0	181	210	299	597	30	34.796	76.82	2208	75.5
	119	119	120	601					181	209	300	597	30				
11	119	119	119	600	8.539	19.06	2232	10.6	182	209	299	598	30	34.809	76.91	2209	68.5
	119	119	120	601					180	209	300	598	30				
12	119	119	119	599	8.518	18.83	2211	9.4	182	208	297	599	30	34.575	74.85	2165	62.0
	119	119	120	599					181	209	297	599	30				
13	119	119	120	600	8.586	18.88	2199	9.0	180	209	298	599	30	34.659	76.67	2212	82.0
	119	120	120	600					179	208	301	598	30				
14	119	119	120	600	8.586	19.05	2219	9.6	180	208	298	600	30	34.616	75.95	2194	72.5
	119	120	120	600					180	209	298	600	30				
15	119	119	120	599	8.554	18.85	2204	8.4	180	209	301	598	30	34.823	77.43	2224	87.5
	119	119	120	599					181	209	299	598	30				
16	120	119	120	601	8.600	18.94	2202	7.0	182	208	300	599	30	34.986	75.94	2171	64.0
	119	119	120	601					182	210	299	600	30				
17	119	119	120	602	8.597	19.09	2221	9.1	180	210	299	598	30	34.735	76.10	2191	82.5
	119	119	120	602					180	209	299	599	30				
18	119	119	119	600	8.539	19.12	2239	9.4	180	208	300	597	30	34.646	76.21	2200	74.0
	119	119	120	601					180	209	299	598	30				
19	119	119	120	601	8.600	18.72	2177	9.1	180	208	300	598	30	34.778	75.50	2171	74.0
	118	119	121	601					181	209	300	598	30				
20	119	120	119	601	8.522	19.03	2233	8.8	180	209	299	599	30	34.780	75.51	2171	67.0
	119	119	119	600					181	210	298	600	30				
21	120	120	118	600	8.478	18.76	2213	8.3	182	208	299	599	30	34.706	75.34	2171	60.0
	119	120	118	600					180	209	298	599	30				
22	119	119	119	600	8.514	18.68	2194	6.0	182	208	300	599	30	34.865	76.53	2195	78.0
	118	119	120	600					180	208	300	600	30				
23	120	120	120	599	8.561	18.86	2203	8.6	182	207	300	599	30	34.778	75.20	2162	66.0
	119	119	119	600					180	209	299	599	30				
24	119	119	120	602	8.561	18.83	2200	6.4	180	209	300	599	30	34.820	75.41	2166	68.0
	119	119	119	602					179	209	300	600	30				
25	119	119	120	601	8.554	18.68	2184	7.4	180	208	300	599	30	34.910	75.20	2154	76.0
	119	119	119	602					181	210	300	600	30				
26	119	119	120	602	8.568	18.86	2201	7.2	180	209	301	599	30	34.968	75.46	2158	67.0
	119	119	119	603					180	210	300	600	30				
27	119	120	120	602	8.597	18.57	2160	6.5	180	210	299	597	30	34.780	74.86	2152	65.0
	120	119	119	602					181	209	300	598	30				
28	120	120	120	602	8.633	18.92	2192	8.7	181	209	300	599	30	34.881	76.38	2190	81.5
	120	120	119	602					181	208	300	599	30				
29	120	119	120	603	8.604	18.78	2183	7.0	182	209	300	599	30	34.942	76.44	2188	68.0
	120	119	119	602					181	209	300	598	30				
30	120	120	119	602	8.615	18.66	2166	6.6	181	208	300	598	30	34.690	77.01	2220	68.0
	119	120	120	602					180	209	298	599	30				
個数	60	60	60	60	—	—	30	30	60	60	60	60	60	—	—	30	30
平均	119	119	120	601	—	—	2205	8.1	181	209	299	598	30	—	—	2192	73.9
最大値	120	120	121	603	—	—	2239	10.6	182	210	301	600	30	—	—	2224	87.5
最小値	118	119	118	599	—	—	2160	6.0	179	207	297	597	30	—	—	2152	60.0
標準偏差	0.49	0.47	0.62	1.16	—	—	19.01	1.15	0.80	0.70	0.98	0.97	0.00	—	—	21.99	7.25
変動係数	0.4	0.4	0.5	0.2	—	—	0.9	14.2	0.4	0.3	0.3	0.2	0.0	—	—	1.0	9.8
分散	0.2	0.2	0.4	1.4	—	—	361.5	1.3	0.6	0.5	1.0	0.9	0.0	—	—	483.7	52.6

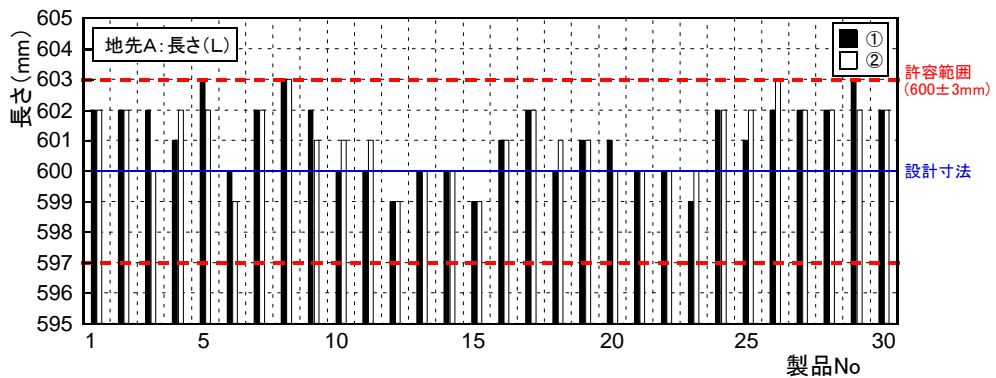
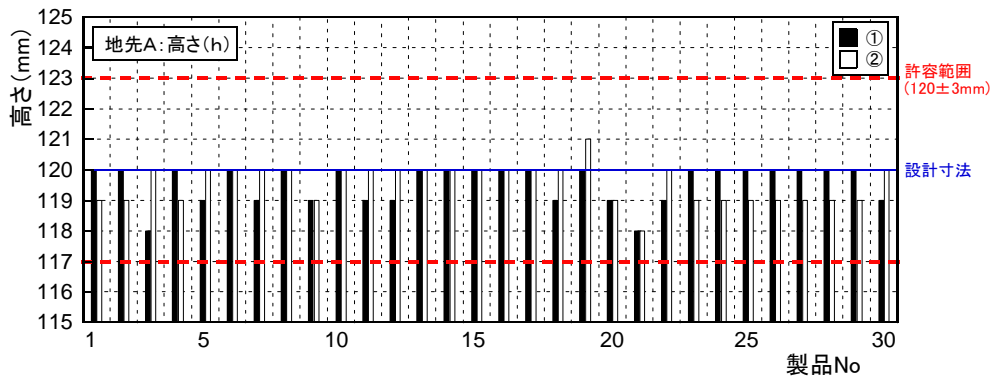
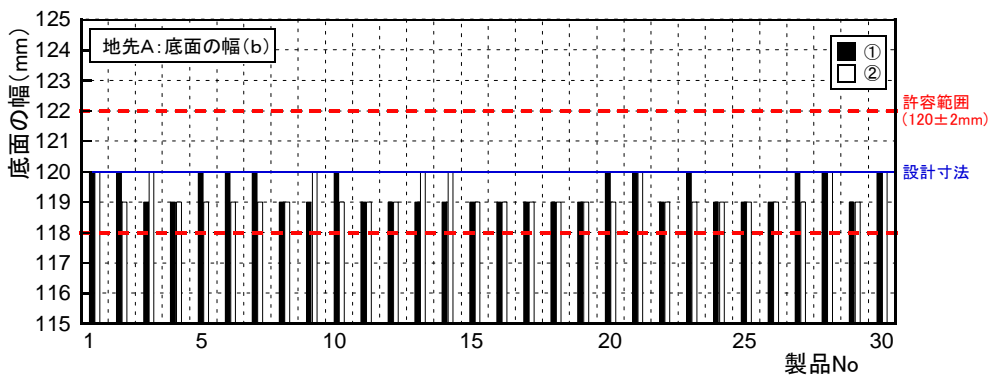
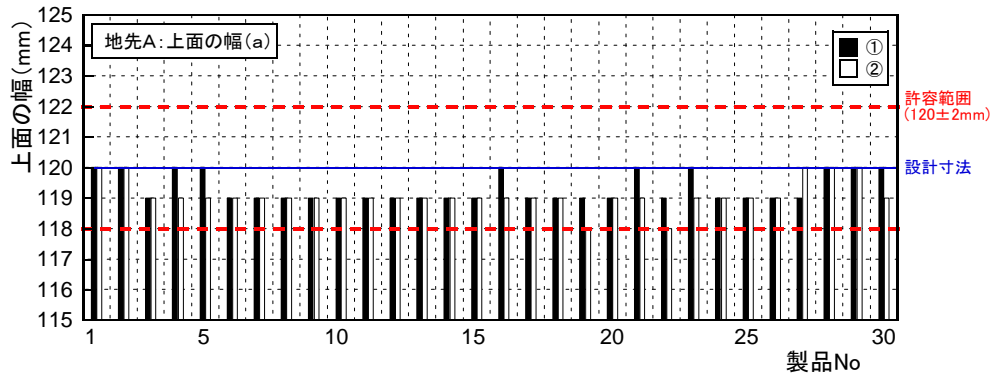


図 7. 3. 1. 3-2 寸法測定結果 (地先 A)

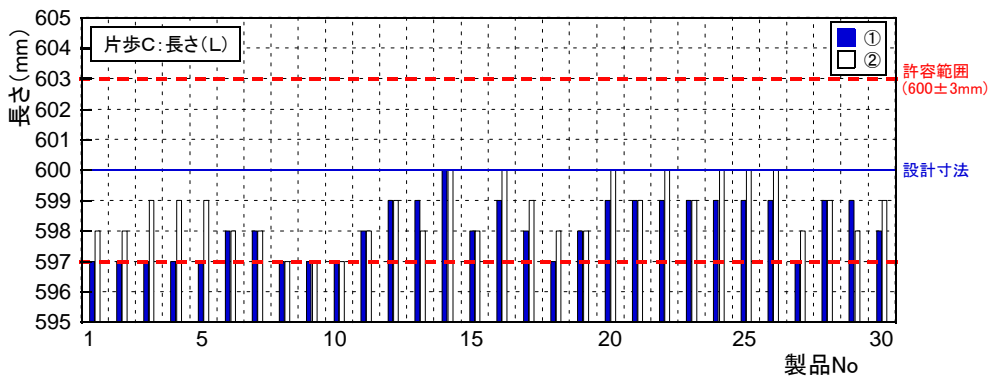
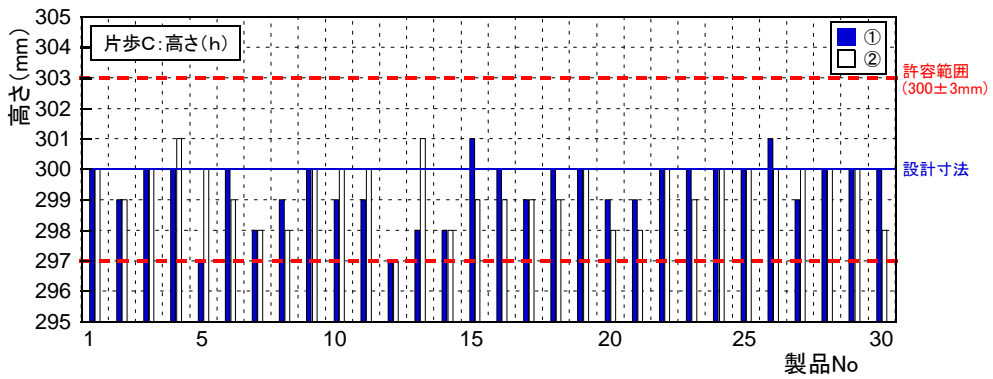
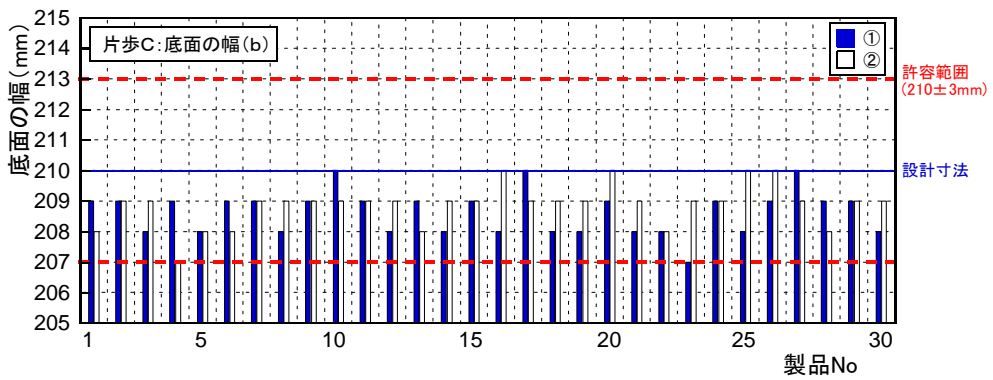
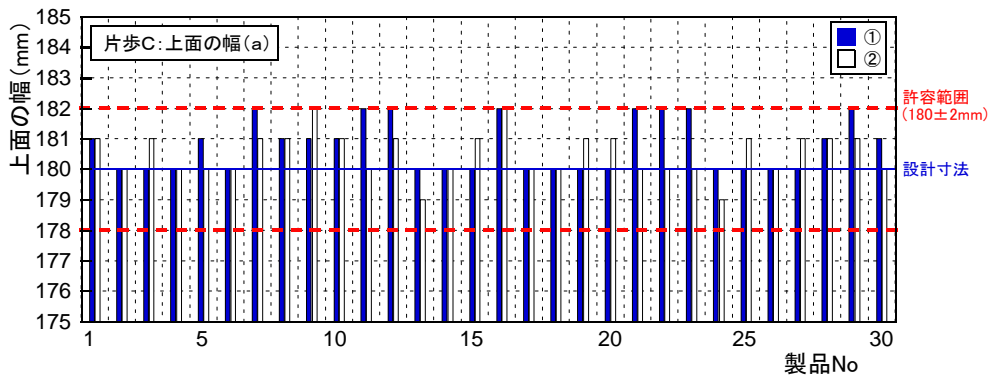


図 7.3.1.3-3 寸法測定結果 (片歩 C)

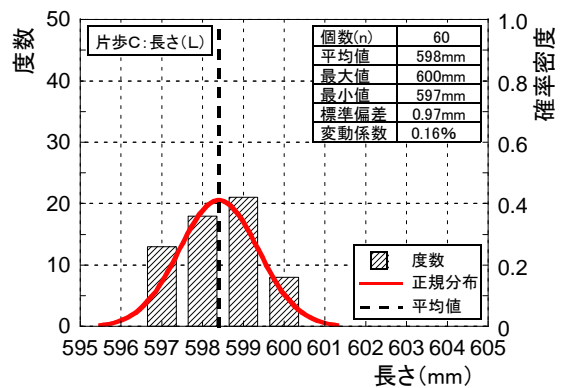
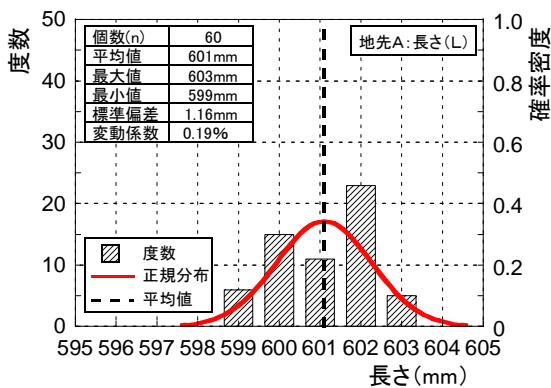
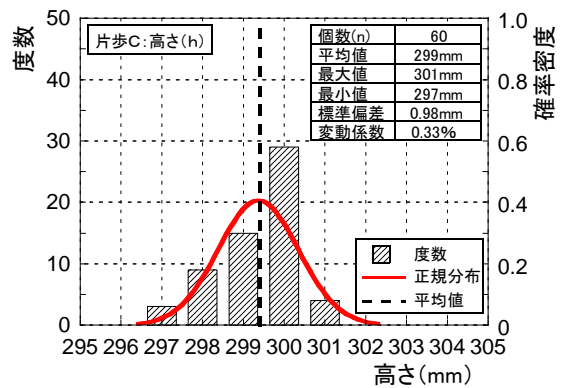
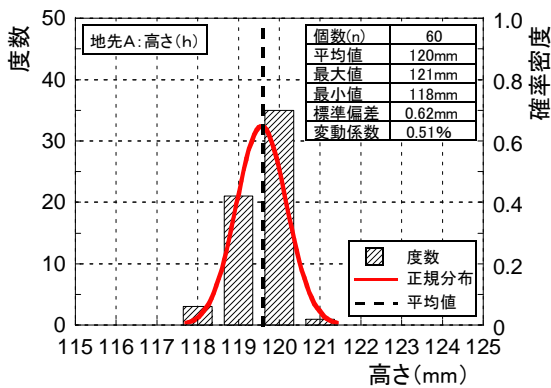
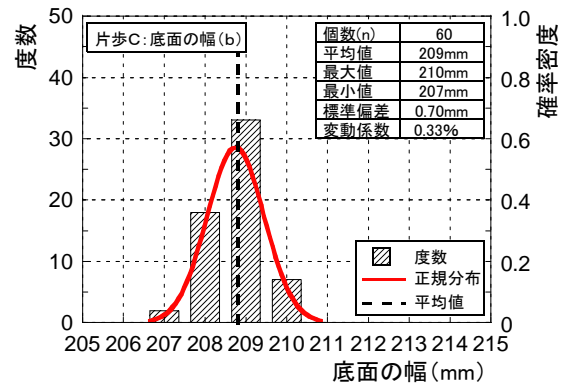
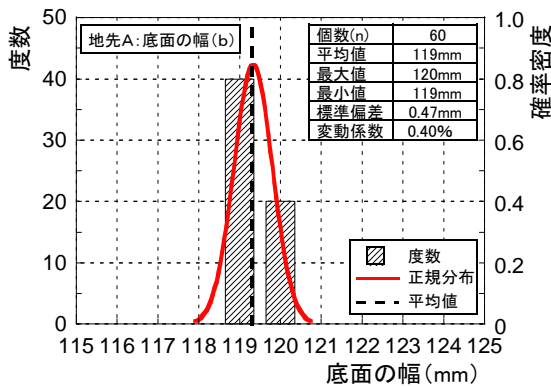
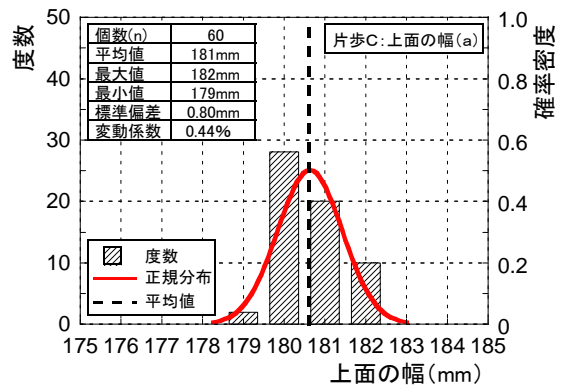
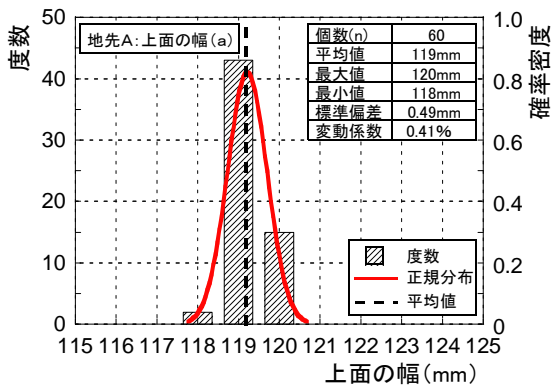


図 7.3.1.3-4 寸法測定結果 (地先 A)

図 7.3.1.3-5 寸法測定結果 (片歩 C)

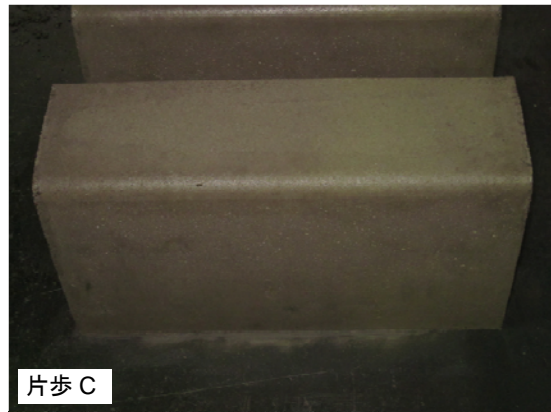
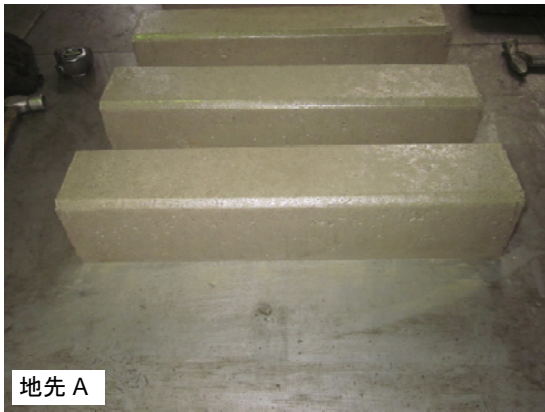
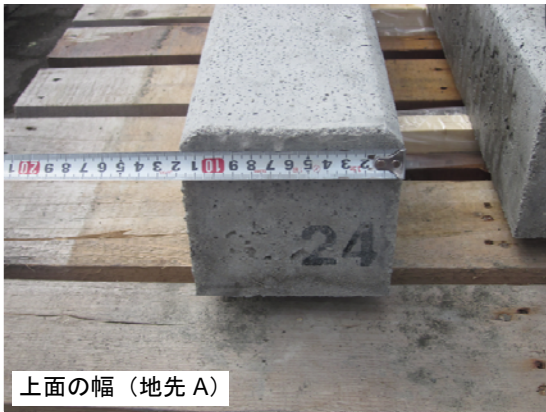


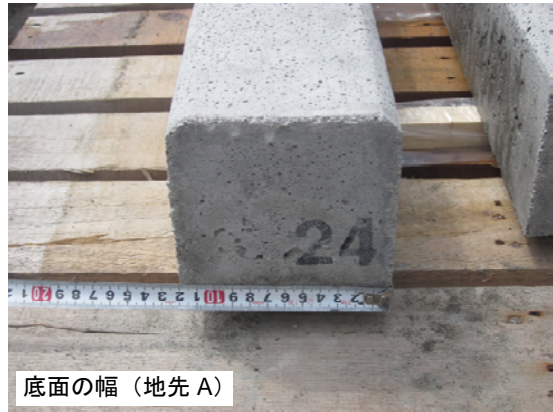
写真 7.3.1.3-6 型枠の取りはずし後の状況



写真 7.3.1.3-7 ブロックの製造完了後の全景



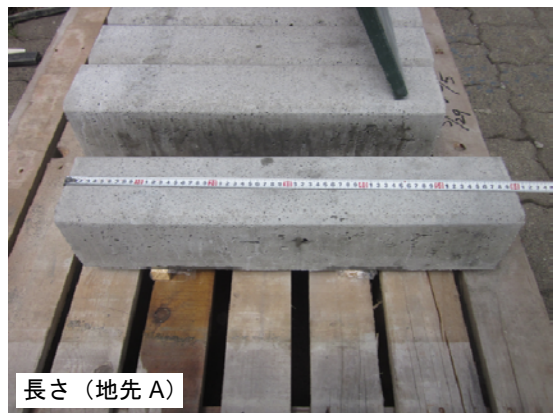
上面の幅（地先 A）



底面の幅（地先 A）



高さ（地先 A）



長さ（地先 A）

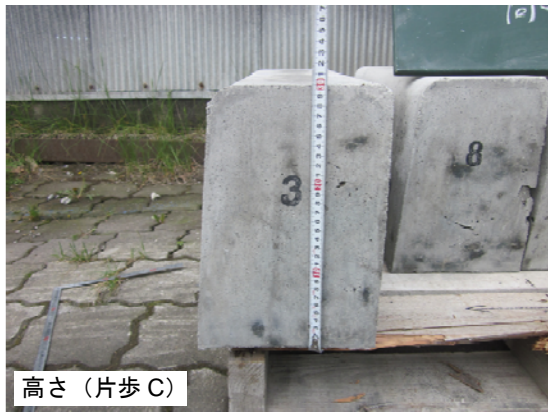
写真 7.3.1.3-8 寸法測定状況（地先 A）



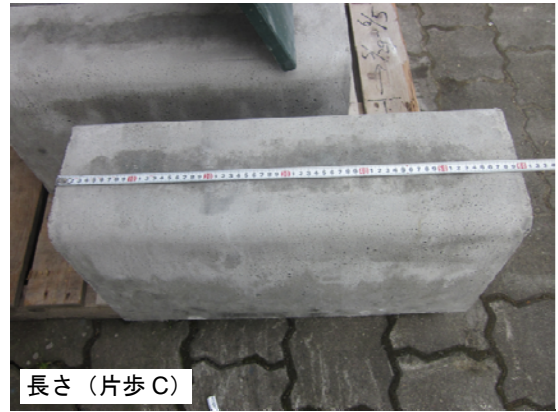
上面の幅 (片歩 C)



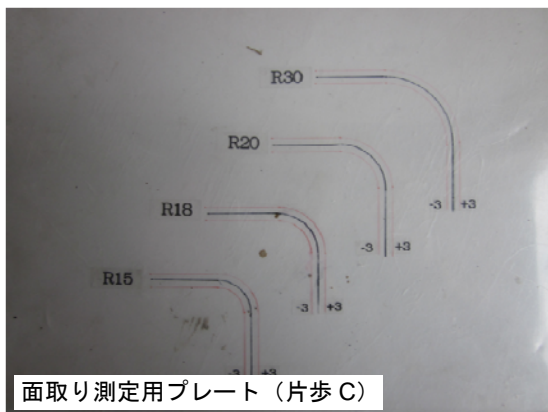
底面の幅 (片歩 C)



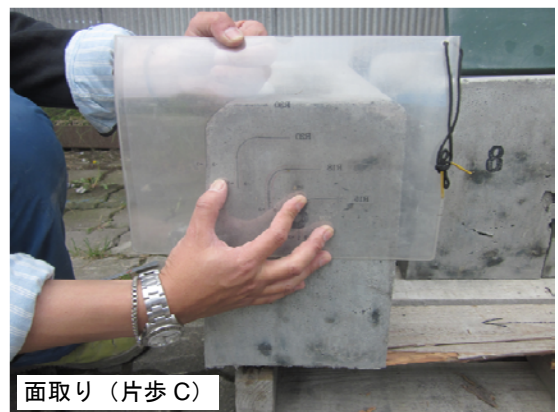
高さ (片歩 C)



長さ (片歩 C)



面取り測定用プレート (片歩 C)



面取り (片歩 C)

写真 7.3.1.3-9 寸法測定状況 (片歩 C)

4) 単位容積質量

前段で測定した寸法から算出した容積、ブロックの質量およびこれらの値から算出した単位容積質量の結果を表 7.3.1.3-5 に示す。単位容積質量の算出結果の棒グラフを図 7.3.1.3-6 および図 7.3.1.3-8 に示す。ヒストグラムと確率密度を図 7.3.1.3-7 および図 7.3.1.3-9 に示す。また、重量の測定状況を写真 7.3.1.3-10 に示す。

ブロックの単位容積質量は、平均で地先 A が $2,205\text{kg/m}^3$ 、片歩 C が $2,192\text{kg/m}^3$ であった。示方配合から算出すると、単位容積質量は $2,273\text{kg/m}^3$ となり、 $68\text{kg/m}^3 \sim 81\text{kg/m}^3$ 小さい値であった。この原因として、示方配合が空気量を見込んでいないこと、ブロック内に空隙があること、がれき残渣の密度のばらつきなどが考えられる。

表 7.3.1.3-5 実験結果の一覧 (再掲)

ブロック No.	地先A								片歩C								
	寸法				寸法計測 結果から 算出した 容積 (l)	質量 (kg)	単位容 積質量 (kg/m ³)	曲げ強 度荷重 (kN)	寸法					寸法計測 結果から 算出した 容積 (l)	質量 (kg)	単位容 積質量 (kg/m ³)	曲げ強 度荷重 (kN)
	上面の幅 a (mm)	底面の幅 b (mm)	高さ h (mm)	長さ l (mm)					上面の幅 a (mm)	底面の幅 b (mm)	高さ h (mm)	長さ l (mm)	面取り r (mm)				
1	120	120	120	602	8.633	18.90	2189	7.6	181	209	300	597	30	34.794	77.31	2222	80.0
	120	120	119	602					181	208	300	598	30				
2	120	120	120	602	8.615	18.95	2200	9.0	180	209	299	597	30	34.633	76.51	2209	82.0
	120	119	119	602					180	209	299	598	30				
3	119	119	118	602	8.529	18.90	2216	7.8	180	208	300	597	30	34.778	77.31	2223	77.5
	119	120	120	600					181	209	300	599	30				
4	120	119	120	601	8.572	19.15	2234	8.8	180	209	300	597	30	34.746	76.72	2208	72.5
	119	119	119	602					180	207	301	599	30				
5	120	120	119	603	8.604	18.96	2204	7.8	181	208	297	597	30	34.559	75.64	2189	72.5
	119	119	120	602					180	208	300	599	30				
6	119	120	120	600	8.579	19.03	2218	6.2	180	209	300	598	30	34.675	76.33	2201	84.5
	119	119	120	599					180	208	299	598	30				
7	119	120	119	602	8.579	18.90	2203	8.9	182	209	298	598	30	34.679	76.72	2212	79.0
	119	119	120	602					181	209	298	598	30				
8	119	119	120	603	8.611	19.04	2211	7.4	181	208	299	597	30	34.590	76.57	2214	79.0
	119	119	120	603					181	209	298	597	30				
9	119	119	119	602	8.536	18.98	2224	7.9	181	209	300	597	30	34.854	76.60	2198	83.0
	119	120	119	601					182	209	300	597	30				
10	119	120	120	600	8.593	19.06	2218	7.0	181	210	299	597	30	34.796	76.82	2208	75.5
	119	119	120	601					181	209	300	597	30				
11	119	119	119	600	8.539	19.06	2232	10.6	182	209	299	598	30	34.809	76.91	2209	68.5
	119	119	120	601					180	209	300	598	30				
12	119	119	119	599	8.518	18.83	2211	9.4	182	208	297	599	30	34.575	74.85	2165	62.0
	119	119	120	599					181	209	297	599	30				
13	119	119	120	600	8.586	18.88	2199	9.0	180	209	298	599	30	34.659	76.67	2212	82.0
	119	120	120	600					179	208	301	598	30				
14	119	119	120	600	8.586	19.05	2219	9.6	180	208	298	600	30	34.616	75.95	2194	72.5
	119	120	120	600					180	209	298	600	30				
15	119	119	120	599	8.554	18.85	2204	8.4	180	209	301	598	30	34.823	77.43	2224	87.5
	119	119	120	599					181	209	299	598	30				
16	120	119	120	601	8.600	18.94	2202	7.0	182	208	300	599	30	34.986	75.94	2171	64.0
	119	119	120	601					182	210	299	600	30				
17	119	119	120	602	8.597	19.09	2221	9.1	180	210	299	598	30	34.735	76.10	2191	82.5
	119	119	120	602					180	209	299	599	30				
18	119	119	119	600	8.539	19.12	2239	9.4	180	208	300	597	30	34.646	76.21	2200	74.0
	119	119	120	601					180	209	299	598	30				
19	119	119	120	601	8.600	18.72	2177	9.1	180	208	300	598	30	34.778	75.50	2171	74.0
	118	119	121	601					181	209	300	598	30				
20	119	120	119	601	8.522	19.03	2233	8.8	180	209	299	599	30	34.780	75.51	2171	67.0
	119	119	119	600					181	210	298	600	30				
21	120	120	118	600	8.478	18.76	2213	8.3	182	208	299	599	30	34.706	75.34	2171	60.0
	119	120	118	600					180	209	298	599	30				
22	119	119	119	600	8.514	18.68	2194	6.0	182	208	300	599	30	34.865	76.53	2195	78.0
	118	119	120	600					180	208	300	600	30				
23	120	120	120	599	8.561	18.86	2203	8.6	182	207	300	599	30	34.778	75.20	2162	66.0
	119	119	119	600					180	209	299	599	30				
24	119	119	120	602	8.561	18.83	2200	6.4	180	209	300	599	30	34.820	75.41	2166	68.0
	119	119	119	602					179	209	300	600	30				
25	119	119	120	601	8.554	18.68	2184	7.4	180	208	300	599	30	34.910	75.20	2154	76.0
	119	119	119	602					181	210	300	600	30				
26	119	119	120	602	8.568	18.86	2201	7.2	180	209	301	599	30	34.968	75.46	2158	67.0
	119	119	119	603					180	210	300	600	30				
27	119	120	120	602	8.597	18.57	2160	6.5	180	210	299	597	30	34.780	74.86	2152	65.0
	120	119	119	602					181	209	300	598	30				
28	120	120	120	602	8.633	18.92	2192	8.7	181	209	300	599	30	34.881	76.38	2190	81.5
	120	120	119	602					181	208	300	599	30				
29	120	119	120	603	8.604	18.78	2183	7.0	182	209	300	599	30	34.942	76.44	2188	68.0
	120	119	119	602					181	209	300	598	30				
30	120	120	119	602	8.615	18.66	2166	6.6	181	208	300	598	30	34.690	77.01	2220	68.0
	119	120	120	602					180	209	298	599	30				
個数	60	60	60	60	—	—	30	30	60	60	60	60	60	—	—	30	30
平均	119	119	120	601	—	—	2205	8.1	181	209	299	598	30	—	—	2192	73.9
最大値	120	120	121	603	—	—	2239	10.6	182	210	301	600	30	—	—	2224	87.5
最小値	118	119	118	599	—	—	2160	6.0	179	207	297	597	30	—	—	2152	60.0
標準偏差	0.49	0.47	0.62	1.16	—	—	19.01	1.15	0.80	0.70	0.98	0.97	0.00	—	—	21.99	7.25
変動係数	0.4	0.4	0.5	0.2	—	—	0.9	14.2	0.4	0.3	0.3	0.2	0.0	—	—	1.0	9.8
分散	0.2	0.2	0.4	1.4	—	—	361.5	1.3	0.6	0.5	1.0	0.9	0.0	—	—	483.7	52.6

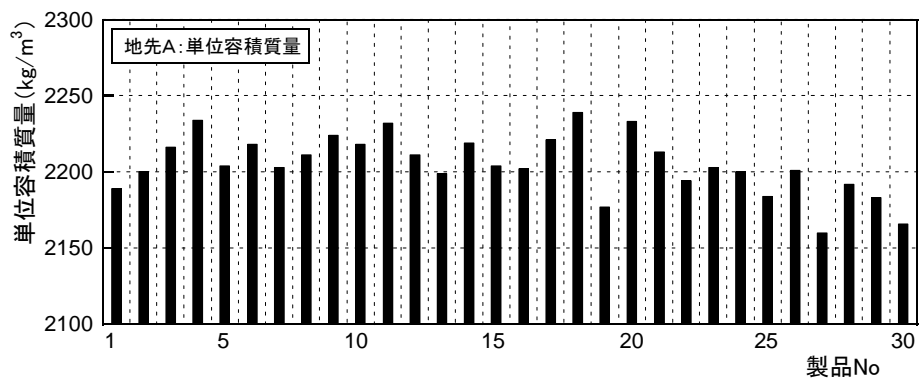


図 7.3.1.3-6 単位容積質量 (地先 A)

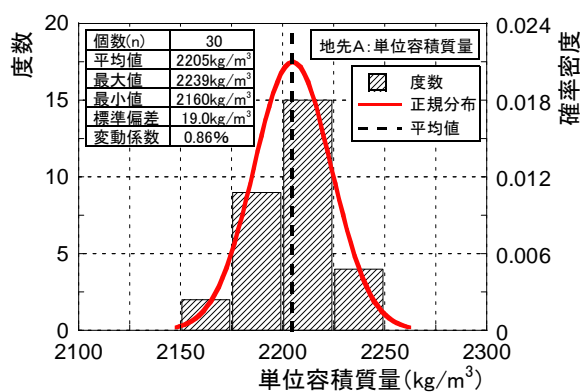


図 7.3.1.3-7 単位容積質量のヒストグラム (地先 A)

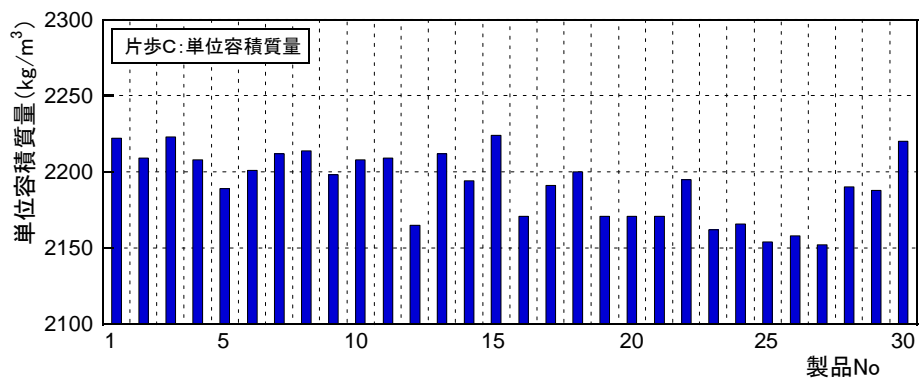


図 7.3.1.3-8 単位容積質量 (片歩 C)

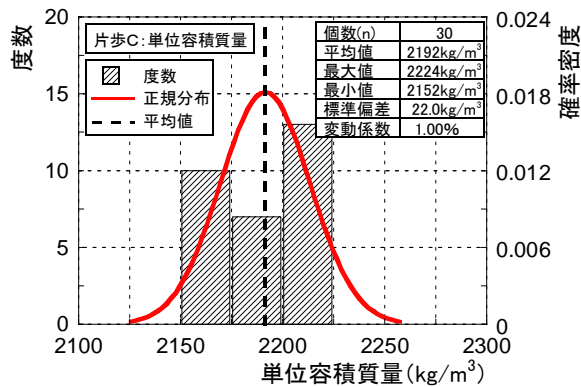


図 7.3.1.3-9 単位容積質量のヒストグラム (片歩 C)

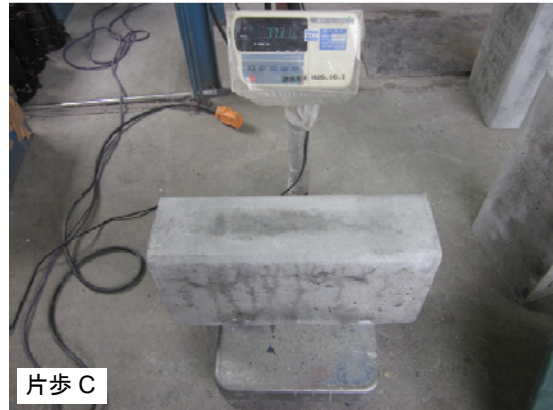
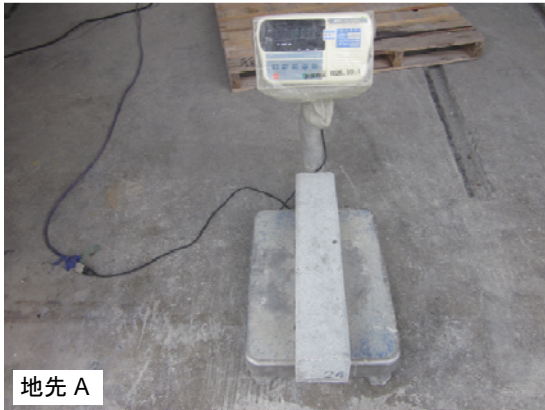


写真 7.3.1.3-10 重量測定状況

5) 曲げ強度荷重

曲げ強度荷重の一覧を表 7.3.1.3-5 に示す。曲げ強度荷重の棒グラフを図 7.3.1.3-10 および図 7.3.1.3-12 に示す。ヒストグラムと確率密度を図 7.3.1.3-11 および図 7.3.1.3-13 に示す。また、曲げ強度試験の状況を写真 7.3.1.3-11 に、試験後の破壊面の状況を写真 7.3.1.3-12～写真 7.3.1.3-19 に示す。

地先 A については、平均的には JIS に規定される基準値を満足する結果であったが、No.6、No.22 および No.24 については、基準値を下回った。

片歩 C については、全てのブロックが基準値を満足した。荷重のばらつきは、片歩 C に比べて地先 A の方が大きい結果であった。

地先 A について、基準値を下回ったブロックの曲げ破壊面を観察すると、比較的粒径の大きいがれき残渣が、断面内に多く配置されている傾向が認められた。

単位容積質量と曲げ強度荷重の関係を図 7.3.1.3-14 および図 7.3.1.3-15 に示す。

荷重のばらつきは大きいものの単位容積質量が増加するほど、曲げ強度も増加する傾向が認められた。今回の実験に用いたがれき残渣は、気乾密度が 2.1g/cm^3 であったが、木片、布、プラスチックなど密度の小さいがれき残渣が多く含まれる場合は、曲げ強度荷重も低下することが予想される。

表 7.3.1.3-5 実験結果の一覧 (再掲)

ブロック No.	地先A								片歩C								
	寸法				寸法計測 結果から 算出した 容積 (l)	質量 (kg)	単位容 積質量 (kg/m ³)	曲げ強 度荷重 (kN)	寸法					寸法計測 結果から 算出した 容積 (l)	質量 (kg)	単位容 積質量 (kg/m ³)	曲げ強 度荷重 (kN)
	上面の幅 a (mm)	底面の幅 b (mm)	高さ h (mm)	長さ l (mm)					上面の幅 a (mm)	底面の幅 b (mm)	高さ h (mm)	長さ l (mm)	面取り r (mm)				
1	120	120	120	602	8.633	18.90	2189	7.6	181	209	300	597	30	34.794	77.31	2222	80.0
	120	120	119	602					181	208	300	598	30				
2	120	120	120	602	8.615	18.95	2200	9.0	180	209	299	597	30	34.633	76.51	2209	82.0
		120	119	119					602	180	209	299	598				
3	119	119	118	602	8.529	18.90	2216	7.8	180	208	300	597	30	34.778	77.31	2223	77.5
		119	120	120					600	181	209	300	599				
4	120	119	120	601	8.572	19.15	2234	8.8	180	209	300	597	30	34.746	76.72	2208	72.5
		119	119	119					602	180	207	301	599				
5	120	120	119	603	8.604	18.96	2204	7.8	181	208	297	597	30	34.559	75.64	2189	72.5
		119	119	120					602	180	208	300	599				
6	119	120	120	600	8.579	19.03	2218	6.2	180	209	300	598	30	34.675	76.33	2201	84.5
		119	119	120					599	180	208	299	598				
7	119	120	119	602	8.579	18.90	2203	8.9	182	209	298	598	30	34.679	76.72	2212	79.0
		119	119	120					602	181	209	298	598				
8	119	119	120	603	8.611	19.04	2211	7.4	181	208	299	597	30	34.590	76.57	2214	79.0
		119	119	120					603	181	209	298	597				
9	119	119	119	602	8.536	18.98	2224	7.9	181	209	300	597	30	34.854	76.60	2198	83.0
		119	120	119					601	182	209	300	597				
10	119	120	120	600	8.593	19.06	2218	7.0	181	210	299	597	30	34.796	76.82	2208	75.5
		119	119	120					601	181	209	300	597				
11	119	119	119	600	8.539	19.06	2232	10.6	182	209	299	598	30	34.809	76.91	2209	68.5
		119	119	120					601	180	209	300	598				
12	119	119	119	599	8.518	18.83	2211	9.4	182	208	297	599	30	34.575	74.85	2165	62.0
		119	119	120					599	181	209	297	599				
13	119	119	120	600	8.586	18.88	2199	9.0	180	209	298	599	30	34.659	76.67	2212	82.0
		119	120	120					600	179	208	301	598				
14	119	119	120	600	8.586	19.05	2219	9.6	180	208	298	600	30	34.616	75.95	2194	72.5
		119	120	120					600	180	209	298	600				
15	119	119	120	599	8.554	18.85	2204	8.4	180	209	301	598	30	34.823	77.43	2224	87.5
		119	119	120					599	181	209	299	598				
16	120	119	120	601	8.600	18.94	2202	7.0	182	208	300	599	30	34.986	75.94	2171	64.0
		119	119	120					601	182	210	299	600				
17	119	119	120	602	8.597	19.09	2221	9.1	180	210	299	598	30	34.735	76.10	2191	82.5
		119	119	120					602	180	209	299	599				
18	119	119	119	600	8.539	19.12	2239	9.4	180	208	300	597	30	34.646	76.21	2200	74.0
		119	119	120					601	180	209	299	598				
19	119	119	120	601	8.600	18.72	2177	9.1	180	208	300	598	30	34.778	75.50	2171	74.0
		118	119	121					601	181	209	300	598				
20	119	120	119	601	8.522	19.03	2233	8.8	180	209	299	599	30	34.780	75.51	2171	67.0
		119	119	119					600	181	210	298	600				
21	120	120	118	600	8.478	18.76	2213	8.3	182	208	299	599	30	34.706	75.34	2171	60.0
		119	120	118					600	180	209	298	599				
22	119	119	119	600	8.514	18.68	2194	6.0	182	208	300	599	30	34.865	76.53	2195	78.0
		118	119	120					600	180	208	300	600				
23	120	120	120	599	8.561	18.86	2203	8.6	182	207	300	599	30	34.778	75.20	2162	66.0
		119	119	119					600	180	209	299	599				
24	119	119	120	602	8.561	18.83	2200	6.4	180	209	300	599	30	34.820	75.41	2166	68.0
		119	119	119					602	179	209	300	600				
25	119	119	120	601	8.554	18.68	2184	7.4	180	208	300	599	30	34.910	75.20	2154	76.0
		119	119	119					602	181	210	300	600				
26	119	119	120	602	8.568	18.86	2201	7.2	180	209	301	599	30	34.968	75.46	2158	67.0
		119	119	119					603	180	210	300	600				
27	119	120	120	602	8.597	18.57	2160	6.5	180	210	299	597	30	34.780	74.86	2152	65.0
		120	119	119					602	181	209	300	598				
28	120	120	120	602	8.633	18.92	2192	8.7	181	209	300	599	30	34.881	76.38	2190	81.5
		120	120	119					602	181	208	300	599				
29	120	119	120	603	8.604	18.78	2183	7.0	182	209	300	599	30	34.942	76.44	2188	68.0
		120	119	119					602	181	209	300	598				
30	120	120	119	602	8.615	18.66	2166	6.6	181	208	300	598	30	34.690	77.01	2220	68.0
		119	120	120					602	180	209	298	599				
個数	60	60	60	60	—	—	30	30	60	60	60	60	60	—	—	30	30
平均	119	119	120	601	—	—	2205	8.1	181	209	299	598	30	—	—	2192	73.9
最大値	120	120	121	603	—	—	2239	10.6	182	210	301	600	30	—	—	2224	87.5
最小値	118	119	118	599	—	—	2160	6.0	179	207	297	597	30	—	—	2152	60.0
標準偏差	0.49	0.47	0.62	1.16	—	—	19.01	1.15	0.80	0.70	0.98	0.97	0.00	—	—	21.99	7.25
変動係数	0.4	0.4	0.5	0.2	—	—	0.9	14.2	0.4	0.3	0.3	0.2	0.0	—	—	1.0	9.8
分散	0.2	0.2	0.4	1.4	—	—	361.5	1.3	0.6	0.5	1.0	0.9	0.0	—	—	483.7	52.6

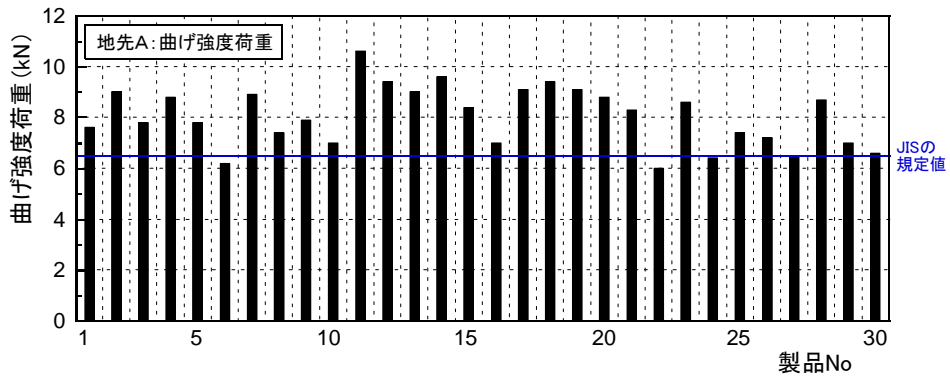


図 7.3.1.3-10 曲げ強度試験結果 (地先 A)

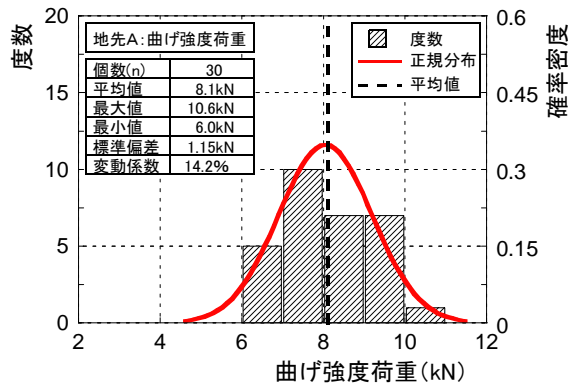


図 7.3.1.3-11 曲げ強度荷重のヒストグラム (地先 A)

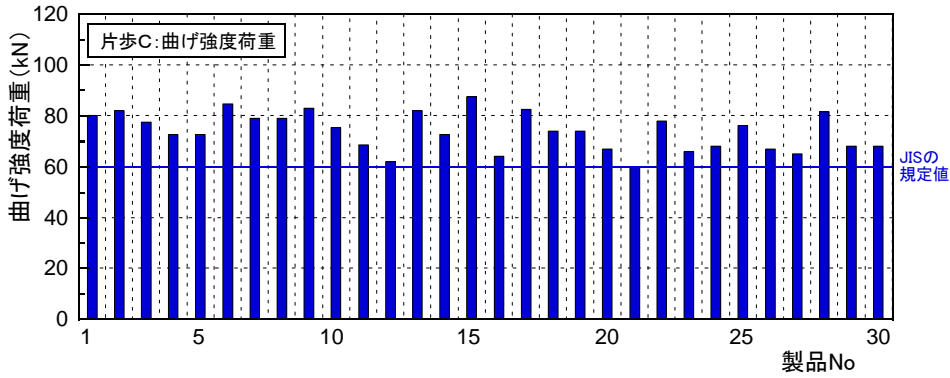


図 7.3.1.3-12 曲げ強度試験結果 (片歩 C)

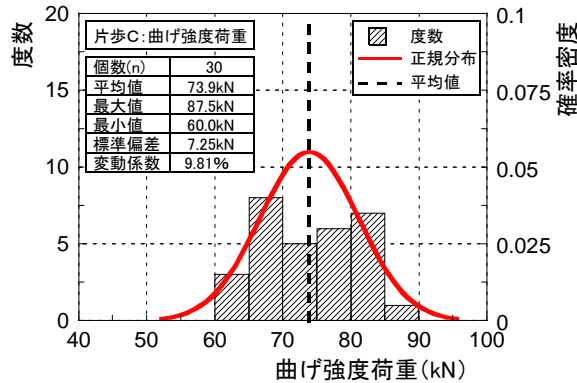


図 7.3.1.3-13 曲げ強度荷重のヒストグラム (片歩 C)

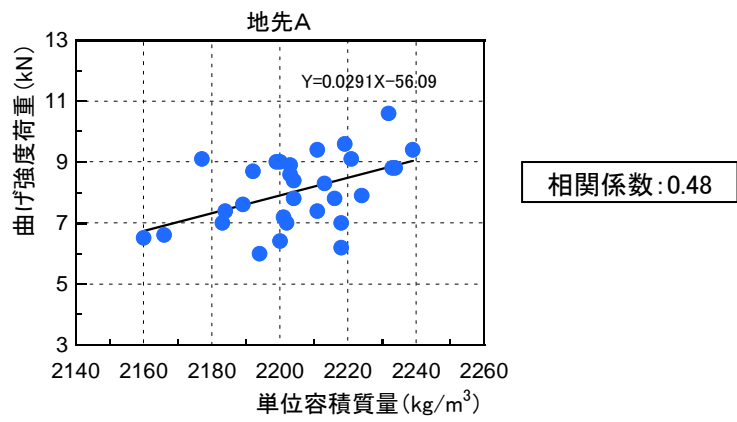


図 7.3.1.3-14 単位容積質量と曲げ強度荷重の関係 (地先 A)

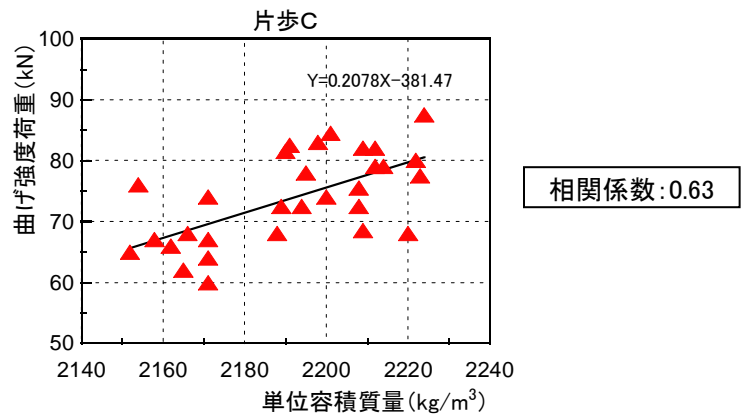
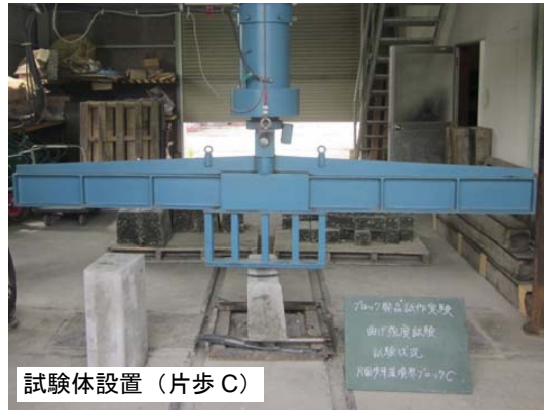


図 7.3.1.3-15 単位容積質量と曲げ強度荷重の関係 (片歩 C)



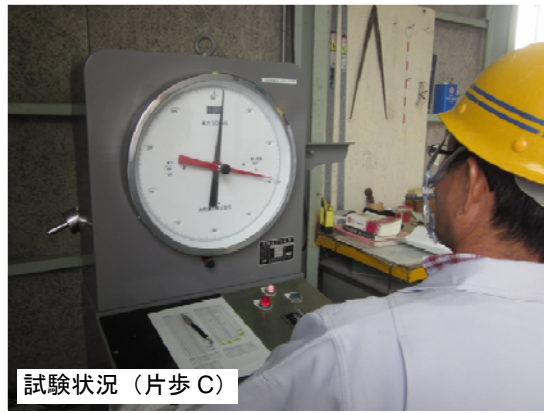
試験体設置 (地先 A)



試験体設置 (片歩 C)



試験状況 (地先 A)



試験状況 (片歩 C)



試験後状況 (地先 A)



試験後状況 (片歩 C)

写真 7.3.1.3-11 曲げ強度試験状況



写真 7.3.1.3-12 曲げ強度試験後の破壊面の状況（地先 A）



写真 7.3.1.3-13 曲げ強度試験後の破壊面の状況 (地先 A)



写真 7.3.1.3-14 曲げ強度試験後の破壊面の状況 (地先 A)

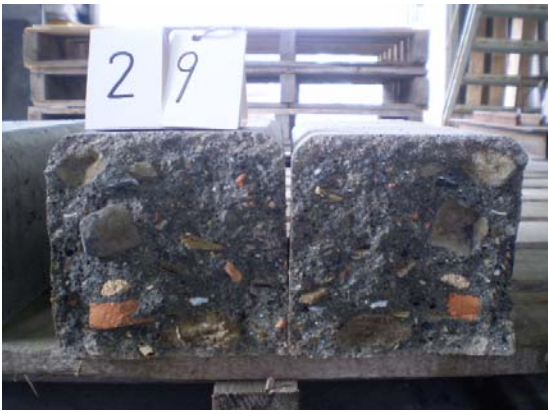


写真 7.3.1.3-15 曲げ強度試験後の破壊面の状況（地先 A）



写真 7.3.1.3-16 曲げ強度試験後の破壊面の状況 (片歩 C)



写真 7.3.1.3-17 曲げ強度試験後の破壊面の状況 (片歩 C)

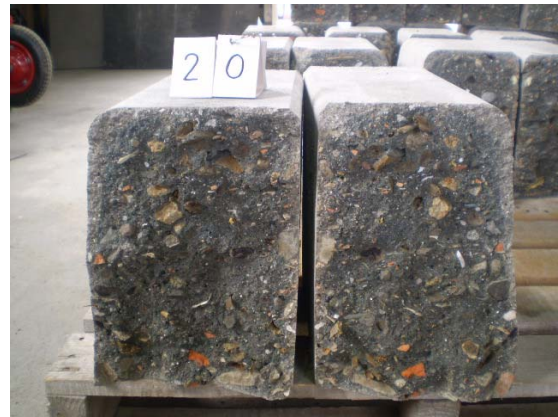


写真 7.3.1.3-18 曲げ強度試験後の破壊面の状況 (片歩 C)



写真 7.3.1.3-19 曲げ強度試験後の破壊面の状況 (片歩 C)

7.3.1.4 まとめ

がれき残渣には、多種多様な材料が混入されており、ブロック製品に適用するにあたって寸法や曲げ強度のばらつきの程度を把握する必要があった。

そこで、JIS A 5371 に規定されている地先境界ブロック A と片面歩車道境界ブロック C について、仙台市で採取したがれき残渣を用いてそれぞれ 30 体ずつブロックを製造し、寸法および曲げ強度荷重を測定した。

その結果、以下の事項が明らかになった。

- 1) 水セメント比を 30% とし、モルタルのフロー値の 15 打を 150mm 以下に調整し、モルタルとがれき残渣の容積比を 6 : 4 とすることにより、振動および加圧による製法によって密実で即脱が可能となり、JIS に規定された寸法の安定性を確保できることを確認した。
- 2) 単位容積質量の増加に伴い、曲げ強度荷重も増加する傾向が認められた。がれき残渣の密度を 2.1g/cm³ 以上とすることにより、JIS A 5371 に規定されている曲げ強度荷重を概ね確保できることを確認した。

7.3.1.5 今後の課題と解決策

(1) 実験結果から明らかとなった課題と解決策

ブロックの曲げ強度荷重の標準偏差を考慮すると、下記のとおり、不良確率 5% では地先 A が JIS 基準値を下回り、安全を考えて不良確率 0.1% とした場合には、地先 A と片歩 C の両者とも JIS 基準値を下回る結果となった。

$\mu - 1.65\sigma$ (不良確率 5%)

【地先 A】 $8.1 - 1.65 \times 1.15 = 6.2\text{kN}$ < 6.5kN NG

【片歩 C】 $73.9 - 1.65 \times 7.25 = 61.9\text{kN}$ > 60.0kN OK

$\mu - 3.00\sigma$ (不良確率 0.1%)

【地先 A】 $8.1 - 3.00 \times 1.15 = 4.6\text{kN}$ < 6.5kN NG

【片歩 C】 $73.9 - 3.00 \times 7.25 = 52.1\text{kN}$ < 60.0kN NG

今後、JIS の基準値を満足するブロックとして製品化するためには、ブロックの単位容積あたりのがれき残渣の混合割合を低減するか、あるいは密度の小さい木片や布等を選別して除外することで、曲げ強度荷重を向上させることができると考える。

(2) その他の課題

二次製品ブロックの実用化に向けて、曲げ強度向上の他に以下のような課題が考えられる。いずれも実験データを蓄積することによって特性を把握できると考える。

- ・凍結融解に対する抵抗性の把握
- ・乾湿繰り返しに対する抵抗性の把握
- ・長期材令強度の把握

また、がれき残渣は発生地域、集積地での分級・選別方法によって性状（組成、粒度）が大幅に異なる。実施した一連の実験は仙台市の荒浜搬入場で発生したのがれき残渣だけを対象としたものである。今後は、各地のがれき残渣の特性に応じた配合および製造方法を検討する必要がある。

7.3.2 配合・製造技術の開発【盛土用ブロック】

7.3.2.1 がれき残渣の物性

(1) 概要

がれき残渣の搬入時の状況を写真 7.3.2.1-1 に示す。盛土用ブロック用のがれき残渣は大型土のう袋（以下、トン袋と呼ぶ）で 14 袋搬入されている。

対象となるがれき残渣の基本物性を把握するために、各種物理試験を実施した。物理試験の一覧を表 7.3.2.1-1 に示す。搬入されたがれき残渣は採取位置による差がみられたことから、2つのトン袋から試料を採取した。

篩分け試験時の状況を写真 7.3.2.1-2～7.3.2.1-9 に示す。

表 7.3.2.1-1 物理試験一覧

項目	規格	数量
含水比試験	JIS A 1203	2 試料（トン袋No.1、No.11）
粒度試験	JIS A 1204	2 試料（トン袋No.1、No.11）



写真 7.3.2.1-1 がれき残渣の搬入時の状況



写真 7.3.2.1-2 搬入時の状況 (トン袋No.1)



写真 7.3.2.1-3 分級前の状況 (トン袋No.1)



写真 7.3.2.1-4 分級後の状況 (トン袋No.1)



写真 7.3.2.1-5 搬入時の状況 (トン袋No.11)



写真 7.3.2.1-6 分級前の状況 (トン袋No.11)



写真 7.3.2.1-7 分級後の状況 (トン袋No.11)



写真-7.3.2.1-8 粒度試験状況（水洗い）



写真 7.3.2.1-9 粒度試験状況（篩分け）

(2) 基本物性試験結果

基本物性試験結果を表 7.3.2.1-2 に示す。また、粒度試験により得られた粒径加積曲線を図 7.3.2.1-1 に示す。

採取したトン袋により含水比の状態が大きく異なることがわかる。また、採取したトン袋によって粒度分布も異なっており、試料のばらつきが大きいことがわかる。

これらの物性試験結果より、少量のがれき残渣を用いて混練する場合、試料のばらつきが大きいいため、同一の配合でもセメントペースト混合後の性状、ならびに強度特性等が大きく異なる可能性が考えられる。

表 7.3.2.1-2 基本物性試験結果

試料名称		トン袋No.1	トン袋No.11
含水比(%)		29.0	15.2
最大粒径 D_{max} (mm)		75	150
平均粒径 D_{50} (mm)		0.66	48
均等係数 U_c		-	188
粒度組成	石分	0	35.4
	礫分	46.2	50.7
	砂分	40.0	9.5
	粘土・シルト分	13.8	4.4

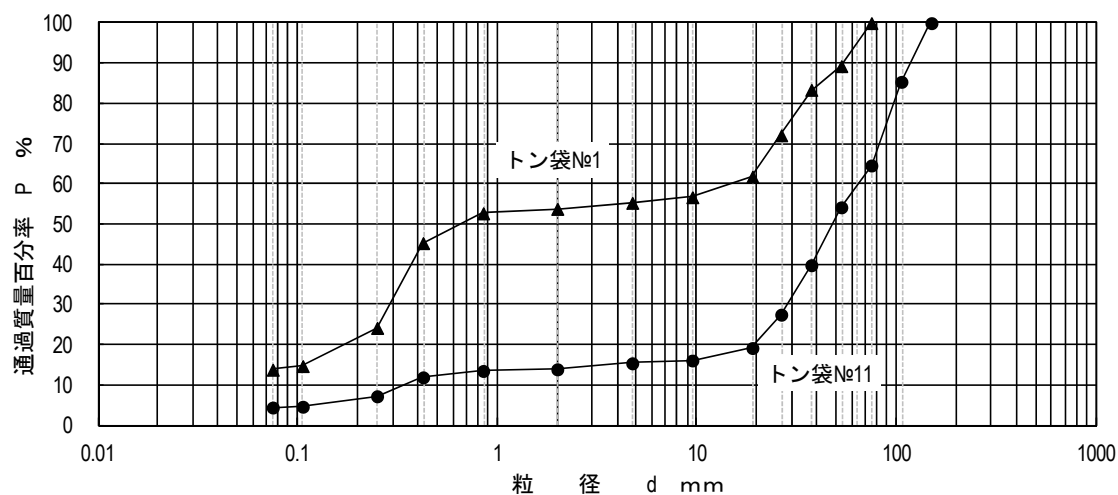


図-7.3.2.1-1 粒径加積曲線

7.3.2.2 配合の選定

(1) 配合決定の流れ

対象とするがれき残渣に最適な配合を選定するために、図 7.3.2.2-1 に示す手順で配合の検討を行った。なお、配合決定に際して目標とした性能は以下の通りである。

【目標性能】

- 一軸圧縮強度：1N/mm²以上（φ100mm コア 28日強度）
- 流動性：ミキサー等への付着が少なく、作業性が高い
- その他：がれき残渣をできるだけ多く使用する

一次選定試験では、小型ブロックにより配合の検討を行った。練り混ぜ時の状態ならびにブロックから採取したコアの強度により、配合の絞り込みを行った。

二次選定試験では、実大の盛土用ブロックを試作することにより、ミキサーによる練混ぜのし易さ、作業性、ブロックの出来栄等を確認し、最適な配合を検討した。

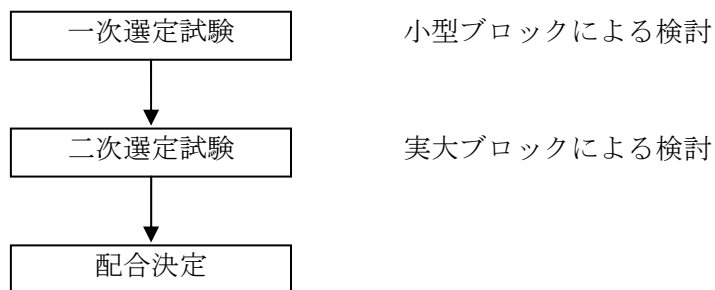


図 7.3.2.2-1 盛土用ブロック配合決定フロー

(2) 選定試験方法

1) 一次選定試験方法

実規模の盛土用ブロックの製造に先立ち、所定の強度が得られ、かつ、作業性が良好な配合を検討するために一次選定試験を実施した。

一次選定試験では、幅 38cm、奥行き 26cm、高さ 24cm のプラスチック製の型枠を使用して小型ブロックの製造を行った。試験フローを図 7.3.2.2-2 に、試験時の状況を写真 7.3.2.2-1～7.3.2.2-9 に示す。

試験では、以下の項目に着目し、配合の絞り込みを行った。

- がれき残渣とセメント、水の練り混ぜやすさ
- 練り混ぜ後の状態
- 圧縮強度

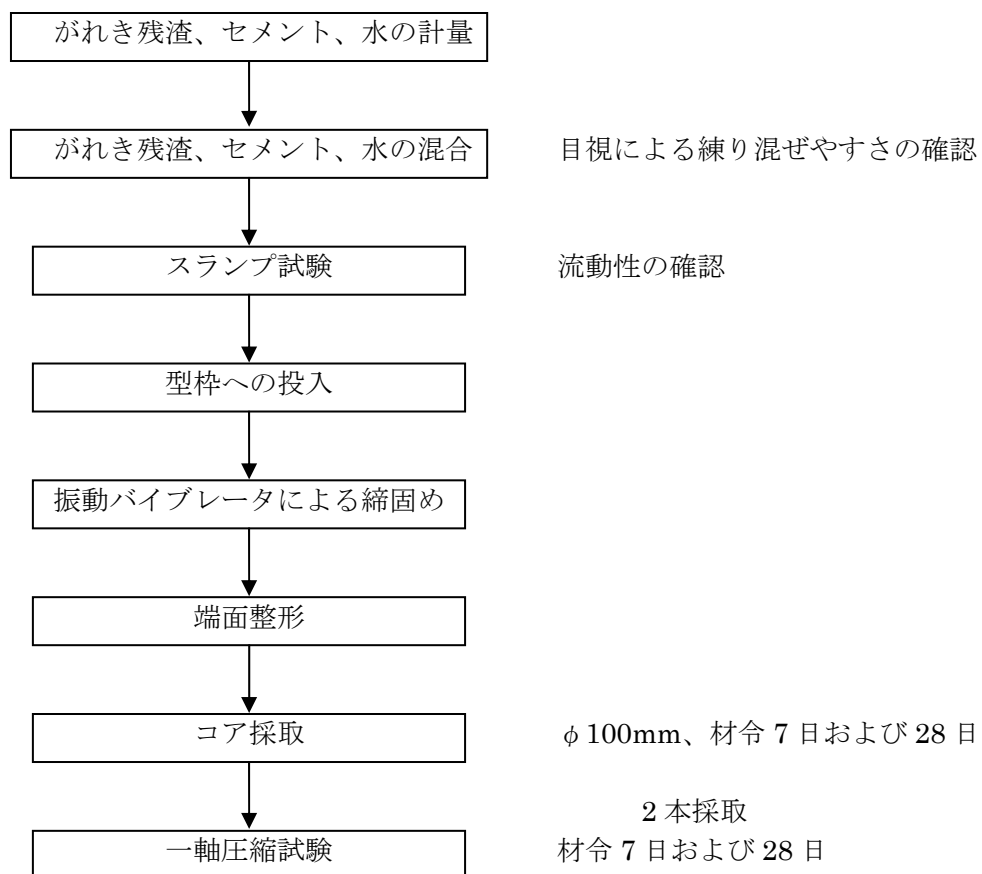


図 7.3.2.2-2 一次選定試験フロー

2) 二次選定試験方法

盛土用ブロック（幅 75cm×奥行き 75cm×高さ 85cm）を試作し、以下の項目に着目し、配合の絞り込みを行った。

- ミキサーによる練混ぜのし易さ、作業性
- ブロックの出来栄



写真 7.3.2.2-1 がれき計量後



写真 7.3.2.2-2 混合状況



写真 7.3.2.2-3 スランプ試験状況



写真 7.3.2.2-4 振動締め状況



写真 7.3.2.2-5 端面整形状況



写真 7.3.2.2-6 ブロック製造完了



写真 7.3.2.2-7 コア抜き状況



写真 7.3.2.2-8 コア抜き後のブロックの状況



写真 7.3.2.2-9 一軸圧縮試験状況

(3) 試験ケース

1) 一次選定試験ケース

小型ブロックを用いて実施した一次選定試験ケースの一覧を表 7.3.2.2-1 に示す。実験は事前に実施した試験練り結果を参考に、水セメント比およびがれき残渣 1 t 当たりの添加量をパラメータとして計 11 ケース実施した。

表 7.3.2.2-1 一次選定試験ケース一覧

ケースNo.	W/C または W/(C+F※) (%)	がれき 1 t 当 たりのセメントペ ースト添加量 (L)	ブロック 1m ³ あ たりのセメント 量 (kg)	ブロック 1m ³ あ たりのがれき量 (kg)
Case1	W/ (C+F) = 30	100	128	1742
Case2	W/ (C+F) = 30	200	218	1484
Case3	W/ (C+F) = 30	300	284	1291
Case4	W/ (C+F) = 30	400	335	1144
Case5	W/ (C+F) = 45	200	178	1483
Case6	W/ (C+F) = 60	100	89	1741
Case7	W/ (C+F) = 60	200	151	1485
Case8	W/ (C+F) = 60	400	233	1144
Case9	W/C=60	200	319	1484
Case10	W/C=60	250	372	1381
Case11	W/C=60	400	478	1144

※…F：フライアッシュ

2) 二次選定試験ケース

一次選定試験の結果から選定された 3 ケースの配合を対象に実施した。

表 7.3.3.2-2 二次選定試験ケース一覧

ケースNo.	W/C または W/(C+F※) (%)	がれき 1 t 当 たりのセメントペ ースト添加量 (L)	ブロック 1m ³ あ たりのセメント 量 (kg)	ブロック 1m ³ あ たりのがれき量 (kg)
Case4	W/ (C+F) = 30	400	335	1144
Case9	W/C=60	200	319	1484
Case10	W/C=60	250	372	1381

※…F：フライアッシュ

(4) 選定試験結果

一次選定試験により絞り込みを行った3種類の配合に対し、二次選定試験を実施した。

二次選定試験結果を表7.3.2.2-3に示す。

練り混ぜ時の状態ならびにブロックの出来栄等から Case10 (W/C=60% 250L) を最適配合として本試験を実施することとした。

表 7.3.2.2-3 二次選定試験結果一覧

ケースNo.	W/C または W/(C+F※) (%)	がれき 1 t 当たり のセメン トペース ト添加量 (L)	練り混ぜ時、打設時の施工性 ブロックの出来栄	総合判定
Case4	W/ (C+F) =30	400	<ul style="list-style-type: none"> 練り混ぜ後の流動性が乏しくミキサーへの付着が多い。 練り混ぜ後の状態がバサバサであるため、ブロックの表面や角部に空隙がみられる。 ブロック表面にがれき残渣が露出している箇所みられた。 	×
Case9	W/C=60	200	<ul style="list-style-type: none"> 練り混ぜ後の流動性がやや乏しく、ミキサーからの排出に難がある。 セメントペーストが若干不足気味であるため、ブロックの表面の凹凸がみられる。 ブロック表面にがれき残渣が露出している箇所がみられた。 	△
Case10	W/C=60	250	<ul style="list-style-type: none"> 練り混ぜ後の流動性が適度にあり、施工性は良好。 ブロックの出来形は良好 	○ 本配合 決定

※…F：フライアッシュ

7.3.2.3 出来形および圧縮強度のばらつきの検証実験

一次および二次選定試験により絞り込みを行った表 7.3.2.3-1 に示す配合により盛土用ブロックの製造を行った。以下に実験概要ならびに実験結果について述べる。

表 7.3.2.3-1 盛土用ブロック製造用配合

ケースNo.	W/C (%)	がれき 1 t 当たりのセメントペースト添加量 (L)	ブロック 1m ³ 当たりのセメント量 (kg)	ブロック 1m ³ 当たりのがれき量 (kg)
Case10	W/C=60	250	372	1381

(1) 実験概要

盛土用ブロック製造による検証実験では、幅 75cm×奥行き 75cm×高さ 85cm の盛土用ブロックを 10 個製造し、ブロックの出来形の計測を行い、そのバラツキを把握した。

また、ブロック毎にコアサンプリング (φ 10cm×L=85cm×3 本) を行い、そのコアを用いて、湿潤密度の計測ならびに圧縮試験を実施し、強度のバラツキを把握した。

複数の供試体に対し試験を行い、データのバラツキを統計的に評価することで開発技術の信頼性を実証した。

1) 鋼製土槽

ブロックの製造には鋼製土槽を用いた。鋼製土槽は内寸 75cm×75cm×85cm、土槽上部には高さ 20cm のカラーを設置できる構造となっている。側部には、パイプレータを設置している。また、上部からの荷重装置としてエアばねを用いており、70cm×70cm の載荷板を介して、150kN/m² まで荷重を載荷できる構造となっている。



写真 7.3.2.3-1 鋼製型枠

2) ブロックの製造方法

盛土用ブロックの製造手順を以下に示す。

【盛土用ブロック製造手順】

- ① 型枠内にトン袋 (75cm×75cm×85cm) を設置
- ② セメントペースト (W/C=60%) の製造およびペーストの投入 (0 層目)
- ③ セメントペーストの製造 (W/C=60%)
- ④ がれき残渣とセメントペーストの混練
- ⑤ 盛土用ブロック用型枠に投入 (実験では約 11 バッチ)
- ⑥ 型枠バイブレータ (+棒状バイブレータ) による締固め
- ⑦ 上載荷重+バイブレータによるプレス
- ⑧ セメントペーストによる表面仕上げ (W/C=45%) および高さ調整
- ⑨ 養生 (1.5 日で脱型)
- ⑩ 脱型
- ⑪ 検尺

3) コア採取および一軸圧縮試験

ブロックの強度を把握するために、コア採取試料を対象に一軸圧縮試験を実施した。

材令 7 日後のブロックより $\phi 10\text{cm} \times L85\text{cm}$ のコアを 3 本採取し、材令 7 日強度試験用ならびに材令 28 日強度試験用の供試体 ($\phi 10\text{cm} \times h20\text{cm}$) を各々 3 本、計 6 本採取した。

圧縮試験用の供試体は採取した $L=85\text{cm}$ のコアの中から供試体の高さ 20cm を確保できる箇所を選定している。

(2) 検証実験結果

1) 出来形

ブロック製造試験により得られた各ブロックの計測結果の一覧を表 7.3.2.3-2 に示す。また、各ブロックの出来形計測結果を表 7.3.2.3-3~7.3.2.3-12 に示す。

ブロック製造時の状況によれば、同一時期に採取したがれき残渣であっても、混合バッチ毎に性状が異なる傾向がみられ、砂分等の細かい粒子が少ないがれき残渣の場合には、今回採用した配合でもセメントペーストが不足気味となる傾向がみられた。被災地のがれき残渣は採取場所や養生状況等によっても性状が大きく異なると考えられ、がれき残渣の性状に応じた配合の検討が必要になると考えられるとともに、ブロック製造時には、性状に応じて添加量の増減等が必要になると考えられる。

盛土用ブロックの出来形計測結果によれば、平均高さ 0.855m、平均幅 0.747m であり、高さ、幅ともに標準偏差 σ は 3mm であった。

がれき残渣の使用量は約 607kg であり、ブロック重量に対する割合は約 68% (重量比) であった。

表 7.3.2.3-2 盛土用ブロック出来形計測結果一覧

ブロックNo.	平均高さ (m)	平均幅 (m)	ブロック体積 (m^3)	ブロック重量 (kg)	湿潤密度 (g/cm^3)	がれき使用量 (kg)	がれき混合率 (重量比 %)
1	0.849	0.742	0.467	884.5	1.895	607.2	68.7
2	0.856	0.741	0.470	907.0	1.931	634.8	70.0
3	0.857	0.750	0.482	903.5	1.874	607.2	67.2
4	0.853	0.749	0.479	899.0	1.877	607.2	67.5
5	0.858	0.750	0.482	892.8	1.851	607.2	68.0
6	0.854	0.751	0.481	903.5	1.878	607.2	67.2
7	0.856	0.748	0.479	894.0	1.865	607.2	67.9
8	0.854	0.747	0.477	903.0	1.892	607.2	67.2
9	0.855	0.747	0.477	908.5	1.905	607.2	66.8
10	0.856	0.745	0.476	902.0	1.897	607.2	67.3
平均	0.855	0.747	0.477	899.8	1.886	610.0	67.8
Max	0.858	0.751	0.482	908.5	1.931	634.8	70.0
Min	0.849	0.741	0.467	884.5	1.851	607.2	66.8
Max-Min	0.009	0.010	0.015	24.06	0.08	27.60	3.16
標準偏差 σ	0.003	0.003	0.005	7.37	0.022	8.73	0.93
変動係数	0.31	0.46	1.07	0.82	1.18	1.43	1.38

表 7.3.2.3-3 No.1 ブロック出来形

盛土材ブロック出来形

ブロック No.1

配合 : W/C = 60% がれき1t当たり250リットル



打設日	4月3日
脱型日	4月5日
バッチ数	11
がれき使用量	607.2 kg
総セメント使用量	193.9 kg
0層セメントミルク	なし L
最終層セメントミルク	23.2 L
t袋質量	1.522 kg
総質量	886.0 kg
試験体質量	884.5 kg
ブロック体積 V	466858 cm ³
湿潤密度 ρt	1.895 g/cm ³
がれき混合率(重量比)	0.687
ブロック1m ³ 当たりのがれき	1301 kg

計測点	高さ (cm)	幅 (cm)
1	85.0	73.4
2	85.0	74.5
3	84.5	74.0
4	84.2	74.5
5	84.5	74.2
6	84.5	73.2
7	84.5	74.0
8	85.0	74.8
9	84.9	74.0
10	85.2	74.0
11	86.1	74.8
12	85.3	74.5
平均値	84.9	74.2

表 7.3.2.3-4 No.2 ブロック出来形

盛土材ブロック出来形

ブロック No.2

配合 : W/C = 60% がれき1t当たり250リットル



打設日	4月5日
脱型日	4月9日
バッチ数	11.5
がれき使用量	634.8
総セメント使用量	201.35 kg
0層セメントミルク	なし L
最終層セメントミルク	23.2 L
t袋質量	1.52 kg
総質量	908.5 kg
試験体質量	907.0 kg
ブロック体積 V	469788 cm ³
湿潤密度 ρt	1.931 g/cm ³
がれき混合率(重量比)	0.700
ブロック1m ³ 当たりのがれき	1351 kg

計測点	高さ (cm)	幅 (cm)
1	85.4	74.5
2	85.5	74.5
3	85.5	74.5
4	86.5	74.5
5	86.5	74.5
6	86.5	73.5
7	85.0	74.4
8	85.0	74.5
9	85.5	73.5
10	85.0	74.0
11	85.5	73.5
12	85.5	73.0
平均値	85.6	74.1

表 7.3.2.3-5 No.3 ブロック出来形

盛土材ブロック出来形

ブロック No.3

配合 : W/C = 60% がれき1t当たり250リットル



打設日	4月13日
脱型日	4月16日
バッチ数	11
がれき使用量	607.2 kg
総セメント使用量	208.8 kg
0層セメントミルク	13.8 L
最終層セメントミルク	23.2 L
t袋質量	1.518 kg
総質量	905.0 kg
試験体質量	903.5 kg
ブロック体積 V	482076 cm ³
湿潤密度 ρt	1.874 g/cm ³
がれき混合率(重量比)	0.672
ブロック1m ³ 当たりのがれき	1260 kg

計測点	高さ (cm)	幅 (cm)
1	85.7	74.5
2	85.7	75.3
3	85.7	74.9
4	85.3	74.5
5	85.4	75.0
6	85.4	75.2
7	85.5	74.9
8	85.5	75.1
9	85.6	74.9
10	85.9	75.3
11	86.1	75.3
12	86.4	75.2
平均値	85.7	75.0

表 7.3.2.3-6 No.4 ブロック出来形

盛土材ブロック出来形

ブロック No.4

配合 : W/C = 60% がれき1t当たり250リットル



打設日	4月16日
脱型日	4月18日
バッチ数	11
がれき使用量	607.2 kg
総セメント使用量	208.8 kg
0層セメントミルク	13.8 L
最終層セメントミルク	23.2 L
t袋質量	1.5 kg
総質量	900.5 kg
試験体質量	899.0 kg
ブロック体積 V	478947 cm ³
湿潤密度 ρt	1.877 g/cm ³
がれき混合率(重量比)	0.675
ブロック1m ³ 当たりのがれき	1268 kg

計測点	高さ (cm)	幅 (cm)
1	85.4	74.7
2	85.4	74.9
3	85.4	74.6
4	85.3	75.2
5	85.5	75.2
6	85.3	75.1
7	85.4	75.0
8	85.4	74.9
9	85.4	74.9
10	85.2	75.0
11	85.0	74.9
12	85.1	74.7
平均値	85.3	74.9

表 7.3.2.3-7 No.5 ブロック出来形

盛土材ブロック出来形

ブロック No.5

配合 : W/C = 60% がれき1t当たり250リットル



打設日	4月18日
脱型日	4月20日
バッチ数	11
がれき使用量	607.2 kg
総セメント使用量	208.8 kg
0層セメントミルク	13.8 L
最終層セメントミルク	23.2 L
t袋質量	1.515 kg
総質量	894.5 kg
試験体質量	893.0 kg
ブロック体積 V	482276 cm ³
湿潤密度 ρt	1.852 g/cm ³
がれき混合率(重量比)	0.680
ブロック1m ³ 当たりのがれき	1259 kg

計測点	高さ (cm)	幅 (cm)
1	86.1	75.0
2	85.5	74.9
3	85.6	74.9
4	86.3	74.8
5	86.0	74.9
6	85.6	75.1
7	85.9	75.1
8	85.5	74.9
9	85.5	74.9
10	85.9	75.1
11	86.0	75.0
12	86.1	74.9
平均値	85.8	75.0

表 7.3.2.3-8 No.6 ブロック出来形

盛土材ブロック出来形

ブロック No.6

配合 : W/C = 60% がれき1t当たり250リットル



打設日	4月20日
脱型日	4月23日
バッチ数	11
がれき使用量	607.2 kg
総セメント使用量	208.8 kg
0層セメントミルク	13.8 L
最終層セメントミルク	23.2 L
t袋質量	1.492 kg
総質量	905.0 kg
試験体質量	903.5 kg
ブロック体積 V	481016 cm ³
湿潤密度 ρt	1.878 g/cm ³
がれき混合率(重量比)	0.672
ブロック1m ³ 当たりのがれき	1262 kg

計測点	高さ (cm)	幅 (cm)
1	86.0	75.2
2	85.6	75.4
3	84.4	76.0
4	85.0	74.5
5	85.0	75.0
6	85.0	74.9
7	85.0	74.6
8	85.3	75.0
9	85.5	75.1
10	86.0	74.9
11	86.0	74.9
12	86.0	75.1
平均値	85.4	75.1

表 7.3.2.3-9 No.7 ブロック出来形

盛土材ブロック出来形

ブロック No.7

配合 : W/C = 60% がれき1t当たり250リットル



打設日	4月25日
脱型日	4月27日
バッチ数	11
がれき使用量	607.2 kg
総セメント使用量	208.8 kg
0層セメントミルク	13.8 L
最終層セメントミルク	23.2 L
t袋質量	1.516 kg
総質量	895.5 kg
試験体質量	894.0 kg
ブロック体積 V	479242 cm ³
湿潤密度 ρt	1.865 g/cm ³
がれき混合率(重量比)	0.679
ブロック1m ³ 当たりのがれき	1267 kg

計測点	高さ (cm)	幅 (cm)
1	86.1	75.0
2	86.0	75.0
3	85.8	74.9
4	85.6	74.6
5	85.1	74.7
6	85.1	74.8
7	85.3	74.8
8	85.2	74.8
9	85.3	74.8
10	85.6	74.7
11	86.1	74.7
12	86.2	75.0
平均値	85.6	74.8

表 7.3.2.3-10 No.8 ブロック出来形

盛土材ブロック出来形

ブロック No.8

配合 : W/C = 60% がれき1t当たり250リットル



打設日	5月21日
脱型日	5月23日
バッチ数	11
がれき使用量	607.2 kg
総セメント使用量	208.8 kg
0層セメントミルク	13.8 L
最終層セメントミルク	23.2 L
t袋質量	1.515 kg
総質量	904.5 kg
試験体質量	903.0 kg
ブロック体積 V	477211 cm ³
湿潤密度 ρt	1.892 g/cm ³
がれき混合率(重量比)	0.672
ブロック1m ³ 当たりのがれき	1272 kg

計測点	高さ (cm)	幅 (cm)
1	85.4	74.6
2	85.3	74.6
3	85.3	74.7
4	85.5	74.9
5	85.5	74.9
6	85.5	75.1
7	85.5	74.6
8	85.3	74.9
9	85.3	74.9
10	85.6	74.1
11	85.4	74.6
12	85.5	75.0
平均値	85.4	74.7

表 7.3.2.3-11 No.9 ブロック出来形

盛土材ブロック出来形

ブロック No.9

配合 : W/C = 60% がれき1t当たり250リットル



打設日	5月23日
脱型日	5月25日
バッチ数	11
がれき使用量	607.2 kg
総セメント使用量	208.8 kg
0層セメントミルク	13.8 L
最終層セメントミルク	23.2 L
t袋質量	1.467 kg
総質量	910.0 kg
試験体質量	908.5 kg
ブロック体積 V	477011 cm ³
湿潤密度 ρt	1.905 g/cm ³
がれき混合率(重量比)	0.668
ブロック1m ³ 当たりのがれき	1273 kg

計測点	高さ (cm)	幅 (cm)
1	85.5	74.5
2	85.5	74.6
3	85.7	74.9
4	85.4	74.4
5	85.5	74.4
6	85.4	74.4
7	85.3	74.9
8	85.3	74.8
9	85.9	74.9
10	86.1	74.8
11	85.4	74.9
12	85.5	74.6
平均値	85.5	74.7

表 7.3.2.3-12 No.10 ブロック出来形

盛土材ブロック出来形

ブロック No.10

配合 : W/C = 60% がれき1t当たり250リットル



打設日	5月25日
脱型日	5月28日
バッチ数	11
がれき使用量	607.2 kg
総セメント使用量	208.8 kg
0層セメントミルク	13.8 L
最終層セメントミルク	23.2 L
t袋質量	1.475 kg
総質量	903.5 kg
試験体質量	902.0 kg
ブロック体積 V	475545 cm ³
湿潤密度 ρt	1.897 g/cm ³
がれき混合率(重量比)	0.673
ブロック1m ³ 当たりのがれき	1277 kg

計測点	高さ (cm)	幅 (cm)
1	85.4	74.2
2	85.5	73.9
3	85.5	73.9
4	85.5	74.8
5	85.8	74.7
6	85.8	74.9
7	85.7	74.8
8	85.8	74.9
9	85.8	74.8
10	85.9	74.5
11	85.6	74.4
12	85.4	74.4
平均値	85.6	74.5

2) コア採取結果

各ブロックよりφ10cmのコアの採取を行った。各ブロックのコアの採取記録を表7.3.2.3-13～7.3.2.3-22に示す。

いずれのブロックにおいてもコアの採取状況は良好であり、コアの回収が不能等の状況はなかった。採取したコアの連続性は、がれき残渣の状況に大きく依存しており、陶器やプラスチックなど、表面が円滑な材質の部分で、縁がきれる傾向がみられた。

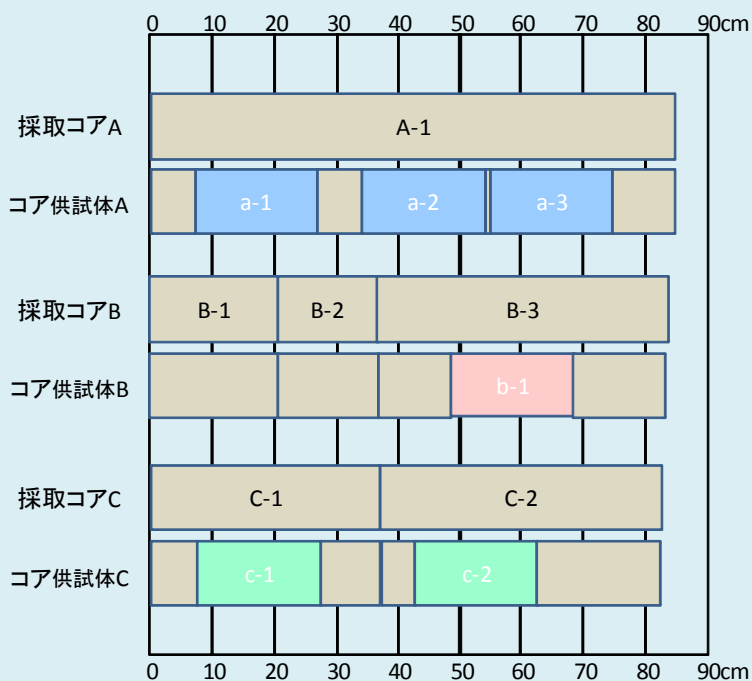
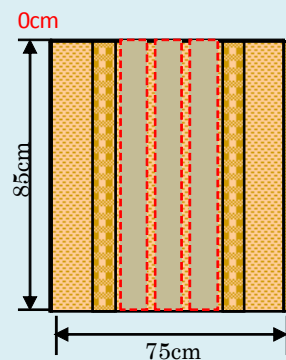
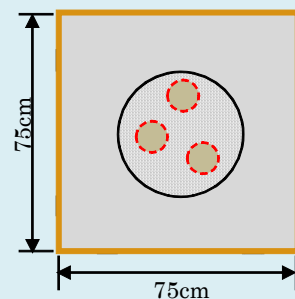
一軸圧縮試験用の供試体は、連続したコアの中から高さ20cmが確保できる箇所を選定し、採取を行っている。

表 7.3.2.3-13 No.1 ブロック コア採取記録

打設日	2012/4/3	脱型日	2012/4/5	コア採取日	2012/4/10
水セメント比	60 %	打設量	250 ℓ	ブロック重量	884.5 kg



0cm 85cm



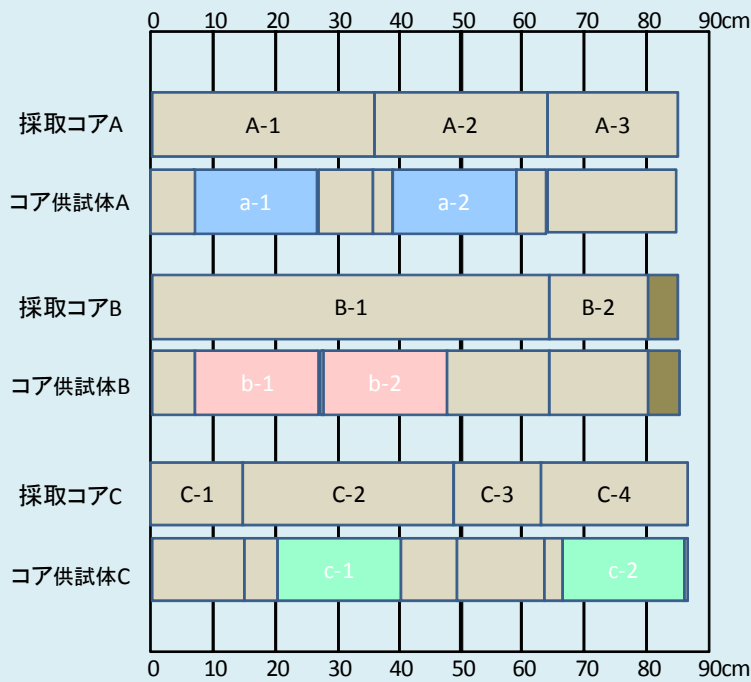
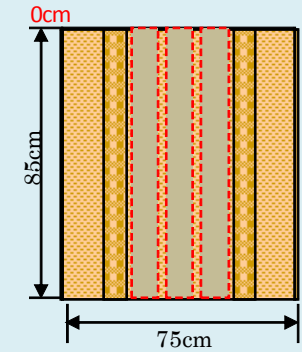
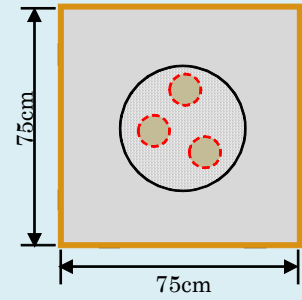
コア	全長	分断数	分断コアの長さ				分断コア 最大長	供試体数	ブロック天端からの供試体深さ(中心)		
			1	2	3	4			1	2	3
A (a)	84	1	84	-	-	-	84	3	17	44	54.25
B (b)	84	3	21	16	47	-	47	1	59	-	-
C (c)	83	2	37	46	-	-	46	2	17.5	42.5	-
平均	83.67	2	-	-	-	-	59	2	-	-	-

表 7.3.2.3-14 No.2 ブロック コア採取記録

打設日	2012/4/5	脱型日	2012/4/9	コア採取日	2012/4/12
水セメント比	60 %	打設量	250 ℓ	ブロック重量	907 kg



0cm 85cm



コア	全長	分断数	分断コアの長さ				分断コア最大長	供試体数	ブロック天端からの供試体深さ(中心)		
			1	2	3	4			1	2	3
A (a)	85	3	36	28	21	-	36	2	17	49	-
B (b)	80	2	64	16	-	-	64	2	17	37.5	
C (c)	86	4	15	34	14	23	34	2	30	65.75	
平均	83.67	3	-	-	-	-	44.6667	2	-	-	-

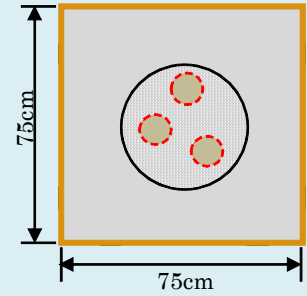
表 7.3.2.3-15 No.3 ブロック コア採取記録

打設日	2012/4/13	脱型日	2012/4/16	コア採取日	2012/4/20
水セメント比	60 %	打設量	250 ℓ	ブロック重量	903.5 kg



0cm

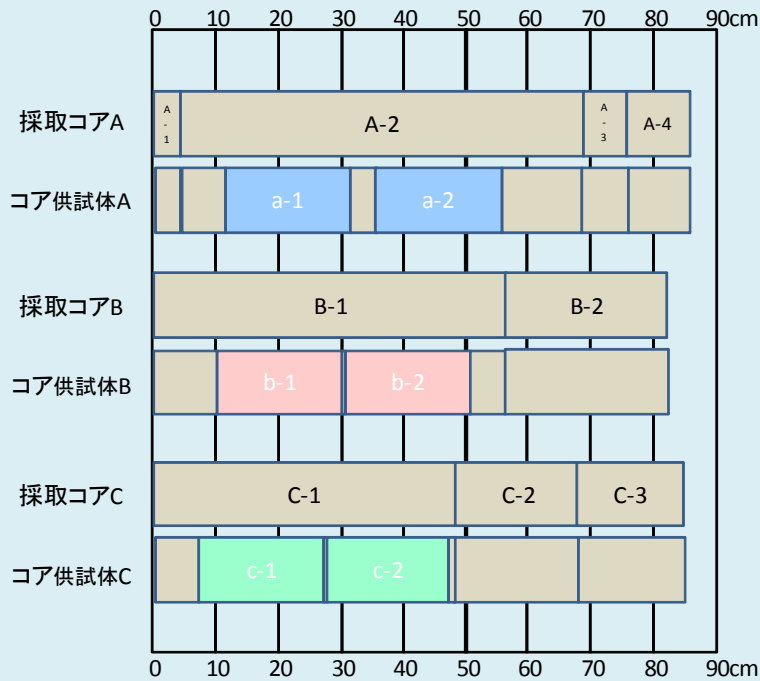
85cm



0cm

85cm

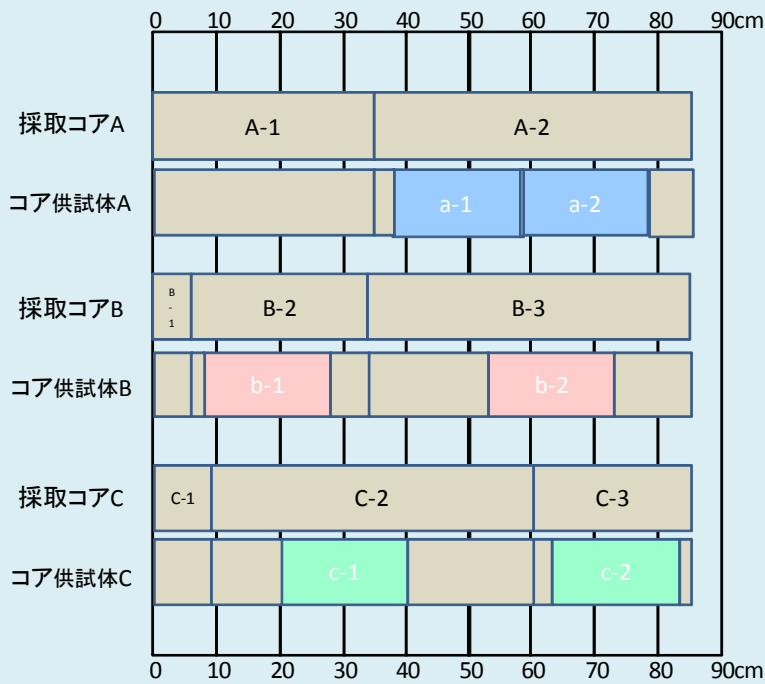
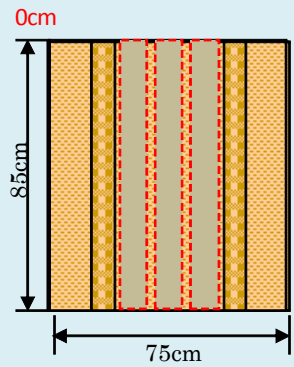
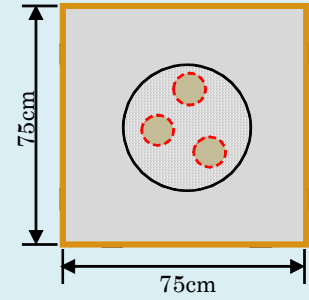
75cm



コア	全長	分断数	分断コアの長さ				分断コア最大長	供試体数	ブロック天端からの供試体深さ(中心)		
			1	2	3	4			1	2	3
A (a)	85	4	4	64	7	10	64	2	21	45	-
B (b)	82	2	56	26	-	-	56	2	20	30.5	
C (c)	85	3	48	20	17		48	2	17	28.5	
平均	84	3	-	-	-	-	56	2	-	-	-

表 7.3.2.3-16 No.4 ブロック コア採取記録

打設日	2012/4/16	脱型日	2012/4/18	コア採取日	2012/4/23
水セメント比	60 %	打設量	250 ℓ	ブロック重量	899 kg



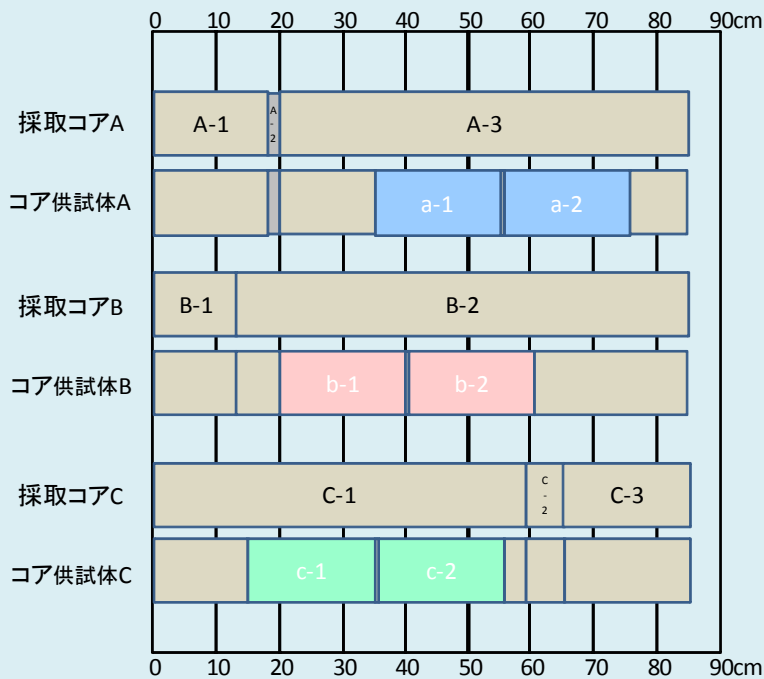
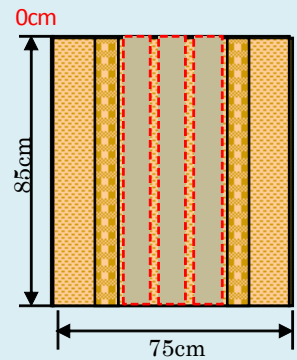
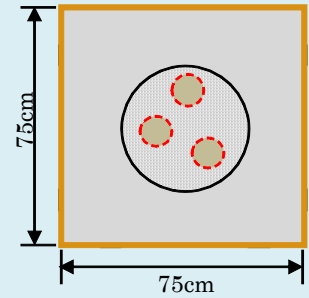
コア	全長	分断数	分断コアの長さ				分断コア最大長	供試体数	ブロック天端からの供試体深さ(中心)		
			1	2	3	4			1	2	3
A (a)	85	2	35	50	-	-	50	2	48	58.5	-
B (b)	85	3	6	28	51	-	51	2	20	30.5	
C (c)	85	3	9	51	25	-	51	2	17	28.5	
平均	85	2.6667	-	-	-	-	50.6667	2	-	-	-

表 7.3.2.3-17 No.5 ブロック コア採取記録

打設日	2012/4/18	脱型日	2012/4/20	コア採取日	2012/4/25
水セメント比	60 %	打設量	250 ℓ	ブロック重量	892.8 kg



0cm 85cm



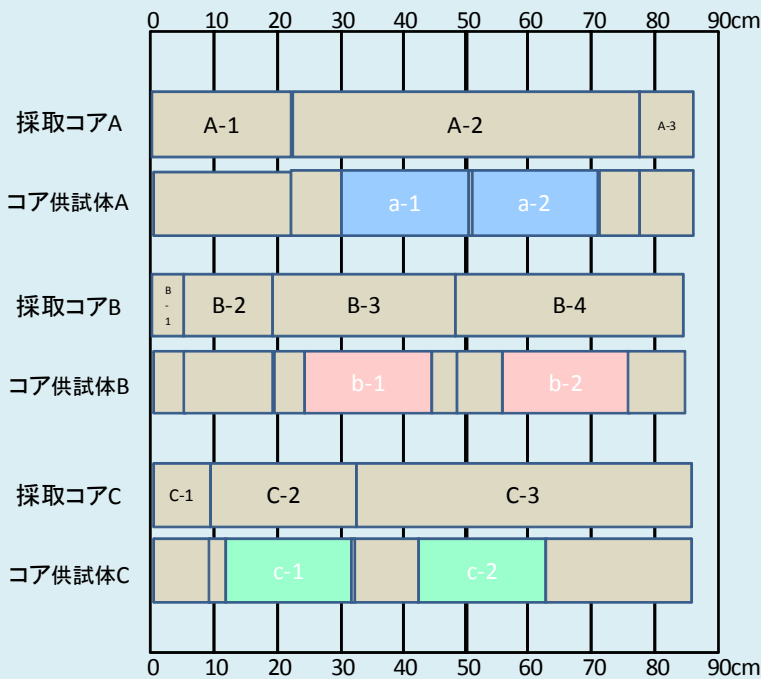
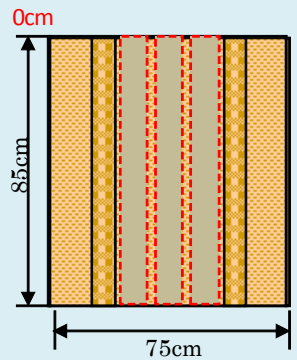
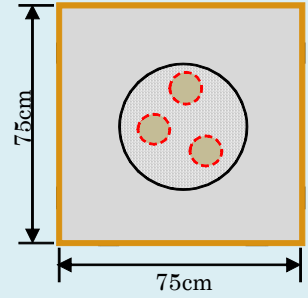
コア	全長	分断数	分断コアの長さ				分断コア最大長	供試体数	ブロック天端からの供試体深さ(中心)		
			1	2	3	4			1	2	3
A (a)	85	3	18	2	65	-	65	2	45	55.5	-
B (b)	85	2	13	72		-	72	2	30	40.5	
C (c)	85	3	59	6	20	-	59	2	25	35.5	
平均	85	2.6667	-	-	-	-	65.3333	2	-	-	-

表 7.3.2.3-18 No.6 ブロック コア採取記録

打設日	2012/4/20	脱型日	2012/4/23	コア採取日	2012/4/27
水セメント比	60 %	打設量	250 ℓ	ブロック重量	903.5 kg



0cm 85cm



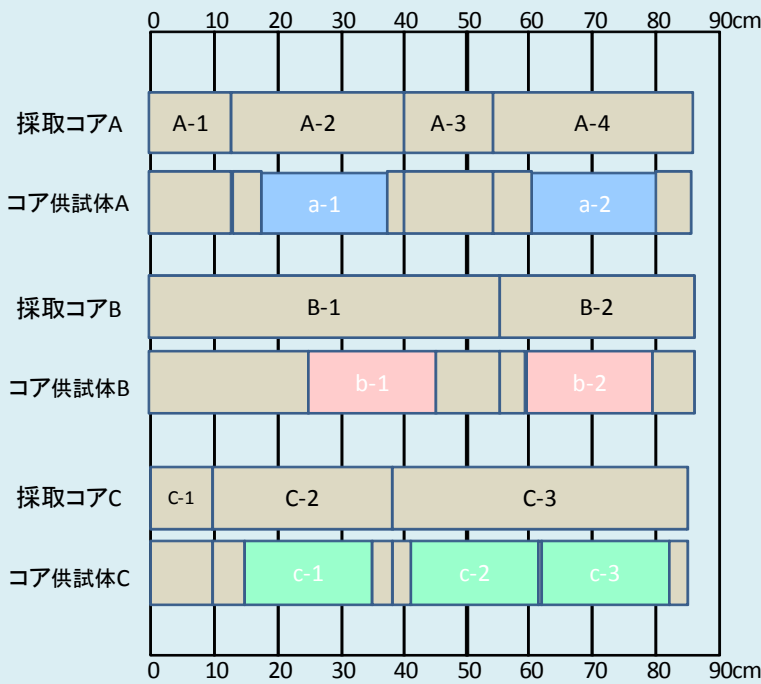
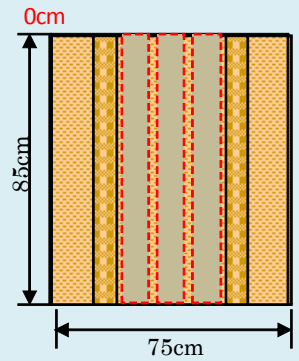
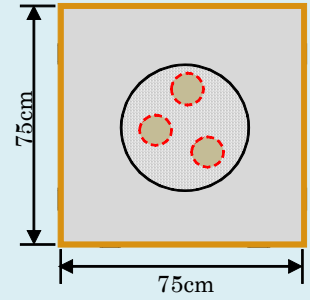
コア	全長	分断数	分断コアの長さ				分断コア 最大長	供試体数	ブロック天端からの供試体深さ(中心)		
			1	2	3	4			1	2	3
A (a)	85.5	3	22	55	8.5	-	55	2	40	50.5	-
B (b)	84	4	5	14	29	36	36	2	34	65	-
C (c)	85	3	9	23	53	-	53	2	21.5	52	-
平均	84.83	3.3333	-	-	-	-	48	2	-	-	-

表 7.3.2.3-19 No.7 ブロック コア採取記録

打設日	2012/4/25	脱型日	2012/4/27	コア採取日	2012/5/2
水セメント比	60 %	打設量	250 ㍓	ブロック重量	894 kg



0cm 85cm



コア	全長	分断数	分断コアの長さ				分断コア最大長	供試体数	ブロック天端からの供試体深さ(中心)		
			1	2	3	4			1	2	3
A (a)	85.5	4	13	27	14	31.5	31.5	2	27.5	70	-
B (b)	85.5	2	55	30.5	-	-	55	2	35	69	-
C (c)	84.5	3	10	28	46.5	-	46.5	3	25	51	71.5
平均	85.17	3	-	-	-	-	44.3333	2.33333	-	-	-

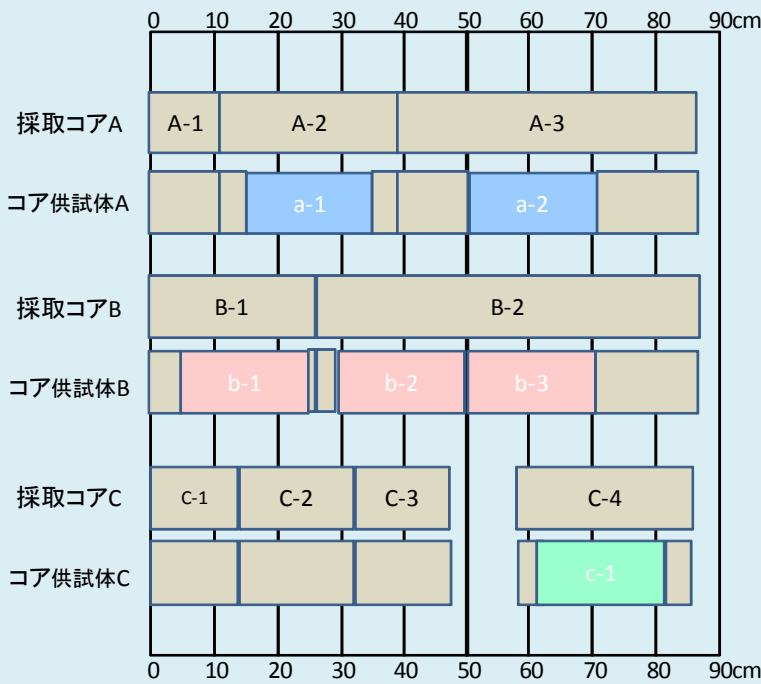
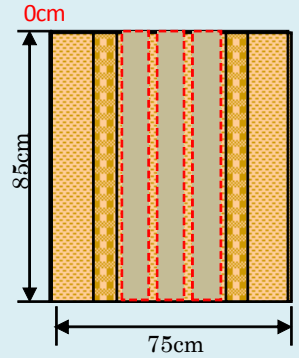
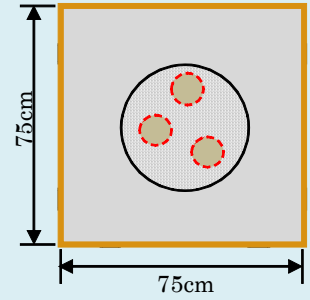
表 7.3.2.3-20 No.8 ブロック コア採取記録

打設日	2012/5/21	脱型日	2012/5/23	コア採取日	2012/5/28
水セメント比	60 %	打設量	250 ℓ	ブロック重量	903 kg



0cm

85cm



コア	全長	分断数	分断コアの長さ				分断コア最大長	供試体数	ブロック天端からの供試体深さ(中心)		
			1	2	3	4			1	2	3
A (a)	86	3	11	28	47	-	47	2	26	60	-
B (b)	86	2	26	60	-	-	60	3	15	40	60
C (c)	85	4	14	18	15	28	28	1	70	-	-
平均	85.67	3	-	-	-	-	45	2	-	-	-

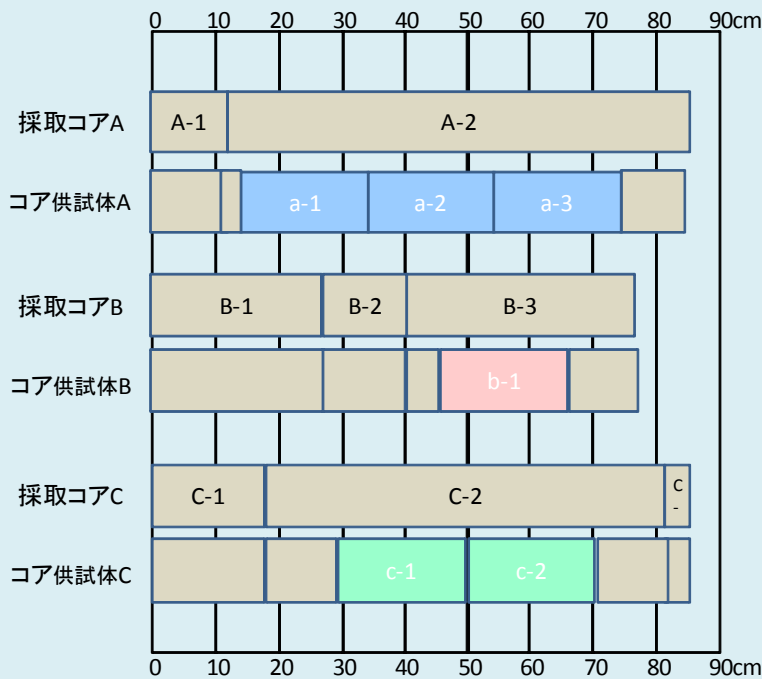
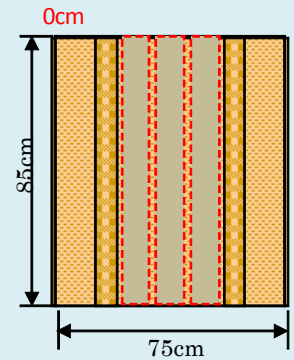
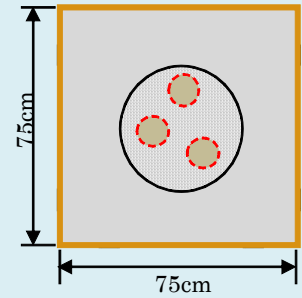
表 7.3.2.3-21 No.9 ブロック コア採取記録

打設日	2012/5/23	脱型日	2012/5/25	コア採取日	2012/5/30
水セメント比	60 %	打設量	250 ℓ	ブロック重量	908.5 kg



0cm

85cm



コア	全長	分断数	分断コアの長さ				分断コア最大長	供試体数	ブロック天端からの供試体深さ(中心)		
			1	2	3	4			1	2	3
A (a)	85	3	12	73	-	-	73	3	25	45	65
B (b)	76	2	27	13	36	-	36	1	55	-	-
C (c)	85	3	18	63	4	-	63	2	39	59	-
平均	82	2.6667	-	-	-	-	57.3333	2	-	-	-

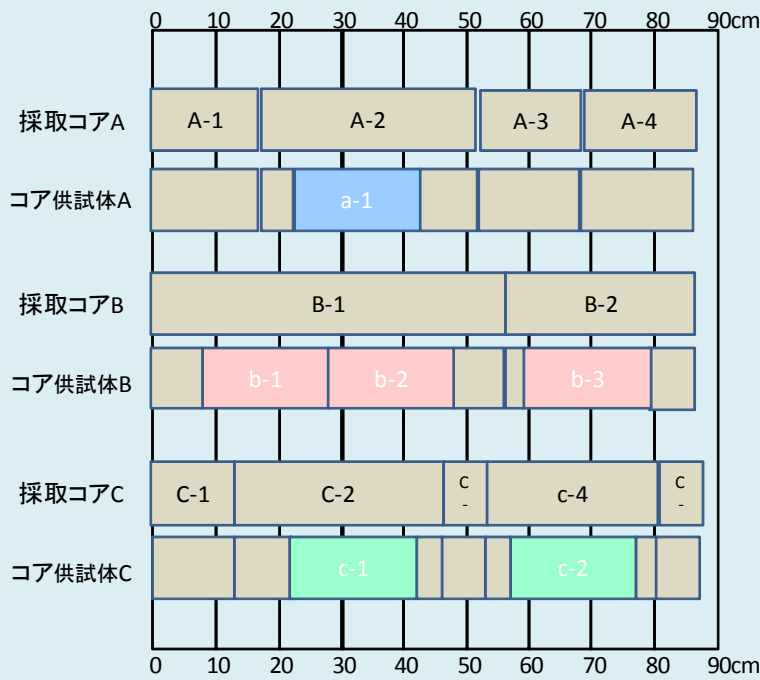
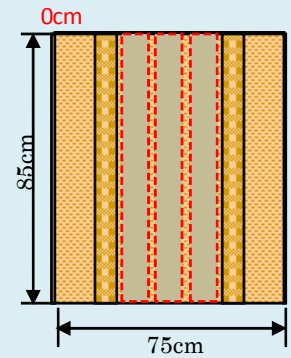
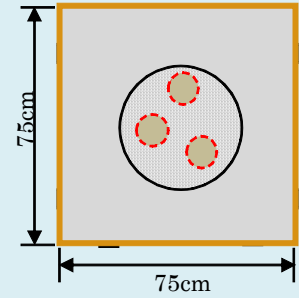
表 7.3.2.3-22 No.10 ブロック コア採取記録

打設日	2012/5/25	脱型日	2012/5/28	コア採取日	2012/6/1
水セメント比	60 %	打設量	250 ℓ	ブロック重量	902 kg



0cm

85cm



コア	全長	分断数	分断コアの長さ					分断コア最大長	供試体数	ブロック天端からの供試体深さ(中心)		
			1	2	3	4	5			1	2	3
A (a)	85	4	17	34	16	18	-	34	1	32	-	-
B (b)	86	2	56	30	-	-	-	56	3	18	38	69
C (c)	87	5	13	33	7	27	7	33	2	32	67	-
平均	86	3.6667	-	-	-	-	-	41	2	-	-	-

3) 採取コアの密度および強度試験結果

各ブロックより採取したコアの湿潤密度および一軸圧縮試験結果の一覧を表 7.3.2.3-23 に示す。また、各ブロックの一軸圧縮試験結果ならびに一軸圧縮試験前後の供試体の観察結果を図 7.3.2.3-1~7.3.2.3-20 に示す。

湿潤密度、一軸圧縮強度および変形係数のヒストグラムをそれぞれ図 7.3.2.3.21~7.3.2.3.23 に、湿潤密度と一軸圧縮強度の関係を図 7.3.2.3-24 に示す。

- コア試料の試験結果によれば、湿潤密度、一軸圧縮強度ともにバラツキが大きい結果となった。
- 材令毎に整理した湿潤密度のデータに着目すると、コアごとの湿潤密度のバラツキは大きいものの、平均値は材令 7 日で 1.924g/cm^3 、材令 28 日で 1.894g/cm^3 と平均値に大きな差は見られず、ブロック全体より算出した湿潤密度の平均値 1.886g/cm^3 と同程度であった。コア試料の標準偏差は、材令 7 日で 0.083g/cm^3 、材令 28 日で 0.073g/cm^3 であり、ブロック全体の 0.022g/cm^3 に比較して大きい値となった。
- 一軸圧縮試験結果に着目すると、バラツキは多いものの材令 7 日の平均値 3.31N/mm^2 に比較して材令 28 日の平均値 4.53N/mm^2 の方が圧縮強度の平均値が大きくなる傾向がみられた。また、一軸圧縮強度はすべてのデータにおいて目標強度を上回る結果となった。
- 湿潤密度と一軸圧縮強度の関係に着目すると、データにバラツキはみられるものの材令 7 日、28 日ともに湿潤密度が増加するに従い、一軸圧縮強度が大きくなる傾向がみられた。
- 一軸圧縮試験前後のコアの状況をみると、圧縮試験において破壊している箇所は主に混合したセメントペースト部であり、がれき残渣が破壊しているケースは少ない。また、瓦やプラスチックなど表面が円滑ながれきが含まれている場合はその箇所縁が切れやすいといえる。

表 7.3.2.3-23 コア試料計測結果一覧

ブロック No.	供試 体 No.	材令7日			材令28日		
		湿潤密度	一軸圧縮強度	変形係数	湿潤密度	一軸圧縮強度	変形係数
		(g/cm ³)	(N/mm ²)	(MN/m ²)	(g/cm ³)	(N/mm ²)	(MN/m ²)
1	1	1.917	3.92	1139.4	2.033	7.10	1231.4
	2	1.877	4.90	1558.3	1.920	4.80	1670.1
	3	1.910	4.40	699.2	1.775	2.31	664.6
2	1	1.869	4.18	873.4	1.979	5.06	744.6
	2	1.835	3.07	412.2	1.938	6.12	1005.5
	3	1.831	3.35	614.5	1.815	5.25	1284.8
3	1	1.933	2.89	346.4	2.006	4.17	718.8
	2	2.004	3.33	501.3	1.800	2.76	463.8
	3	1.824	1.95	103.5	1.930	4.11	2827.9
4	1	1.940	2.68	395.4	1.943	5.92	1122.9
	2	1.901	2.18	229.0	1.815	5.01	518.5
	3	1.850	3.02	242.3	1.933	4.87	1156.6
5	1	2.003	3.80	754.9	1.794	2.73	730.3
	2	1.851	1.94	240.8	1.905	4.10	687.3
	3	2.080	3.33	751.6	1.945	4.20	476.6
6	1	1.916	3.10	645.2	1.920	6.81	565.2
	2	1.834	2.48	521.7	1.833	4.71	1115.8
	3	1.925	3.63	668.1	1.915	9.33	743.5
7	1	2.089	4.59	818.6	1.797	2.95	594.3
	2	1.994	3.90	777.2	1.770	2.46	614.7
	3	2.003	2.66	643.9	1.867	2.90	675.3
8	1	1.798	2.17	739.3	1.968	4.20	867.0
	2	1.883	2.90	580.5	1.989	7.76	2495.6
	3	1.970	5.67	516.6	1.853	2.71	542.1
9	1	1.907	2.09	477.2	1.973	4.80	1242.8
	2	1.936	3.74	806.6	1.876	3.50	1126.8
	3	2.103	3.75	1063.3	1.923	3.76	1042.6
10	1	1.857	2.82	908.5	1.821	2.71	600.1
	2	1.843	2.40	159.3	1.892	5.09	1489.0
	3	2.027	4.54	1101.0	1.879	3.64	695.2
平均 μ		1.924	3.31	643.0	1.894	4.53	990.4
最大値		2.103	5.67	1558.3	2.033	9.33	2827.9
最小値		1.798	1.94	103.5	1.770	2.31	463.8
最大値-最小値		0.305	3.73	1454.7	0.263	7.01	2364.2
標準偏差 σ		0.083	0.94	322.2	0.073	1.68	554.1
変動係数		4.32	28.32	50.1	3.86	37.08	55.9

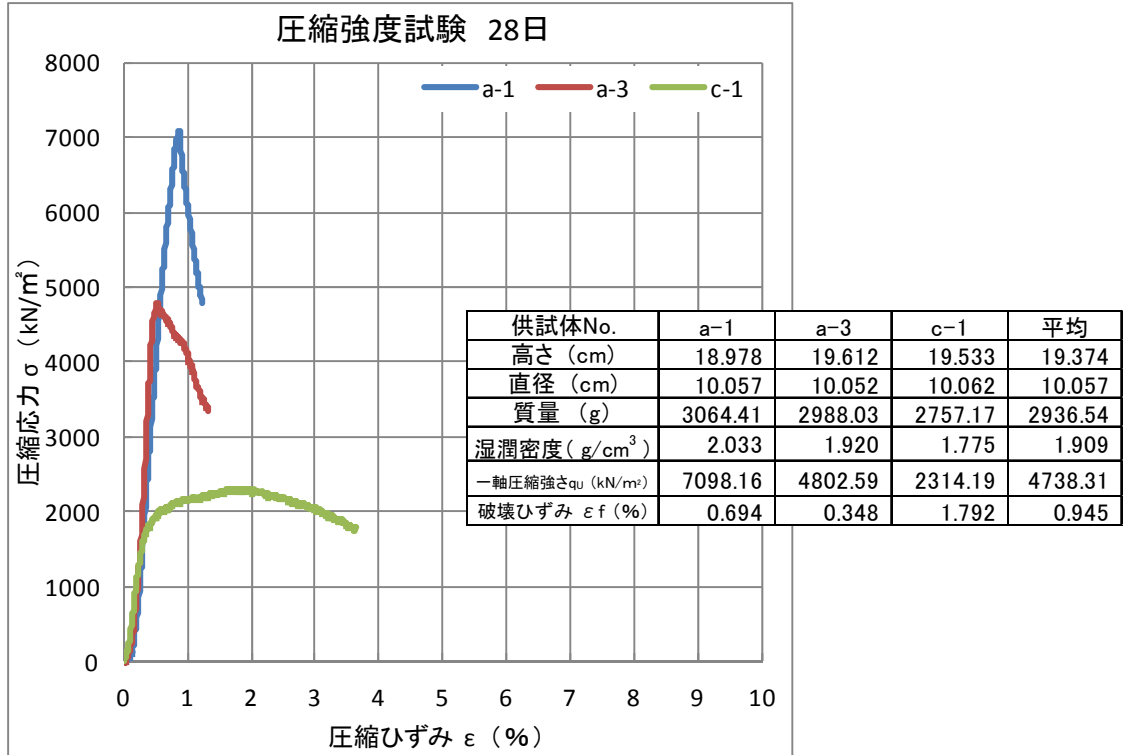
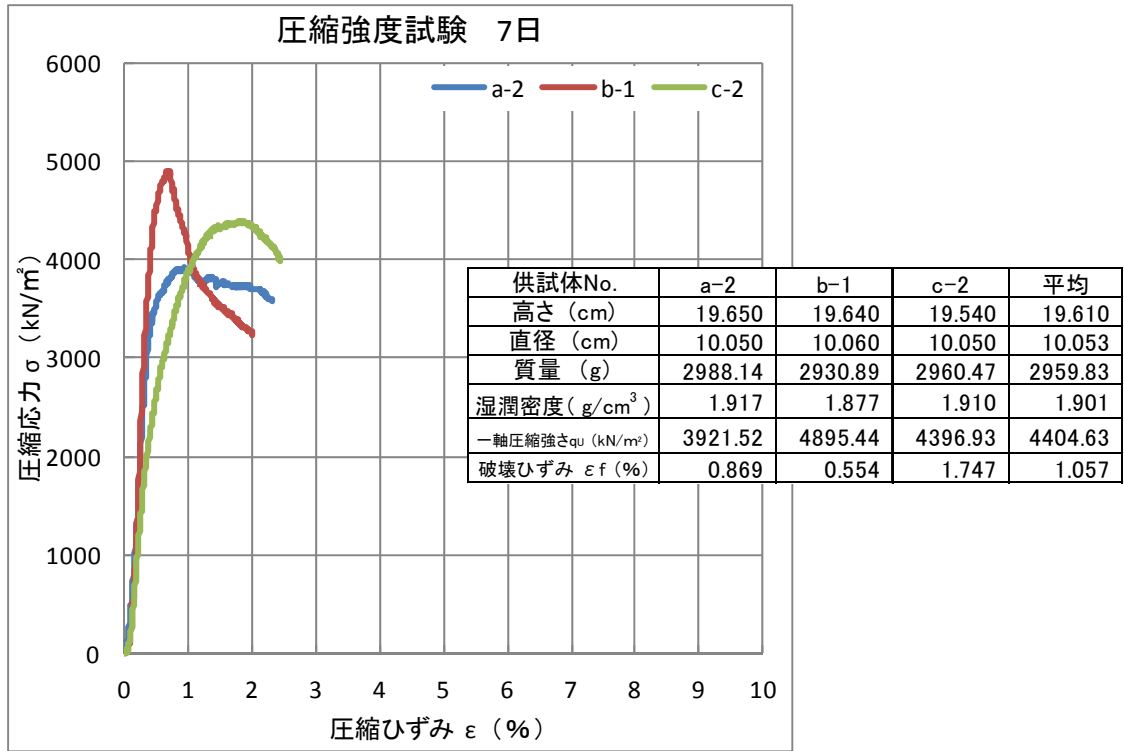


図 7.3.2.3-1 ブロックNo.1 一軸圧縮試験結果




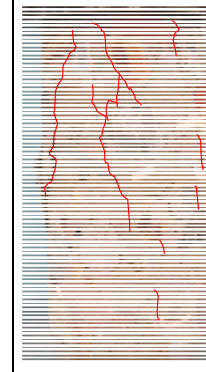







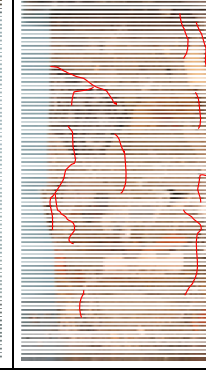
圧縮強度試験 圧縮前後比較 ブロック No.1 材令 7 日			圧縮強度試験 圧縮前後比較 ブロック No.1 材令 28 日		
	圧縮前	圧縮後		圧縮前	圧縮後
a-2			a-1		
<ul style="list-style-type: none"> ・混入物（瓦の縁）に沿って、クラック発生。 ・混入物：瓦、木片、石 等 			<ul style="list-style-type: none"> ・混入物（石、木片）に沿って、クラック発生。 ・混入物：瓦、木片、石 等 		
b-1			a-3		
<ul style="list-style-type: none"> ・混入物（木片）の縁に沿って、クラック発生。 ・混入物：コンクリート片、木片、石 プラスチック等 			<ul style="list-style-type: none"> ・混入物（木片）の縁に沿って、クラック発生。 ・下部に布（繊維）の混入あり、クラックの発生なし。 		
c-2			c-1		
<ul style="list-style-type: none"> ・中央部が圧壊。 ・背面にも木片が混入、木片が圧縮され中央部の圧壊。 			<ul style="list-style-type: none"> ・混入物（プラスチック等）の縁に沿ってクラック発生。 ・上部のアスファルトに変形、破壊あり。 		

図 7.3.2.3-2 ブロック No.1 一軸圧縮試験前後の供試体観察結果

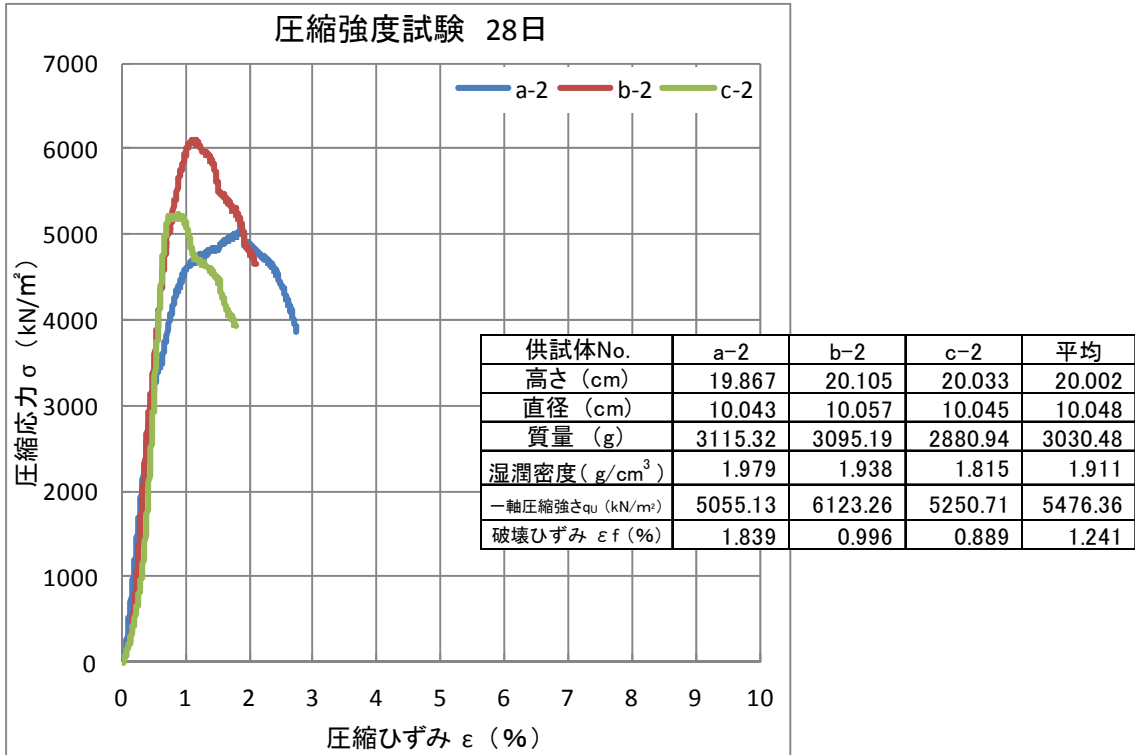
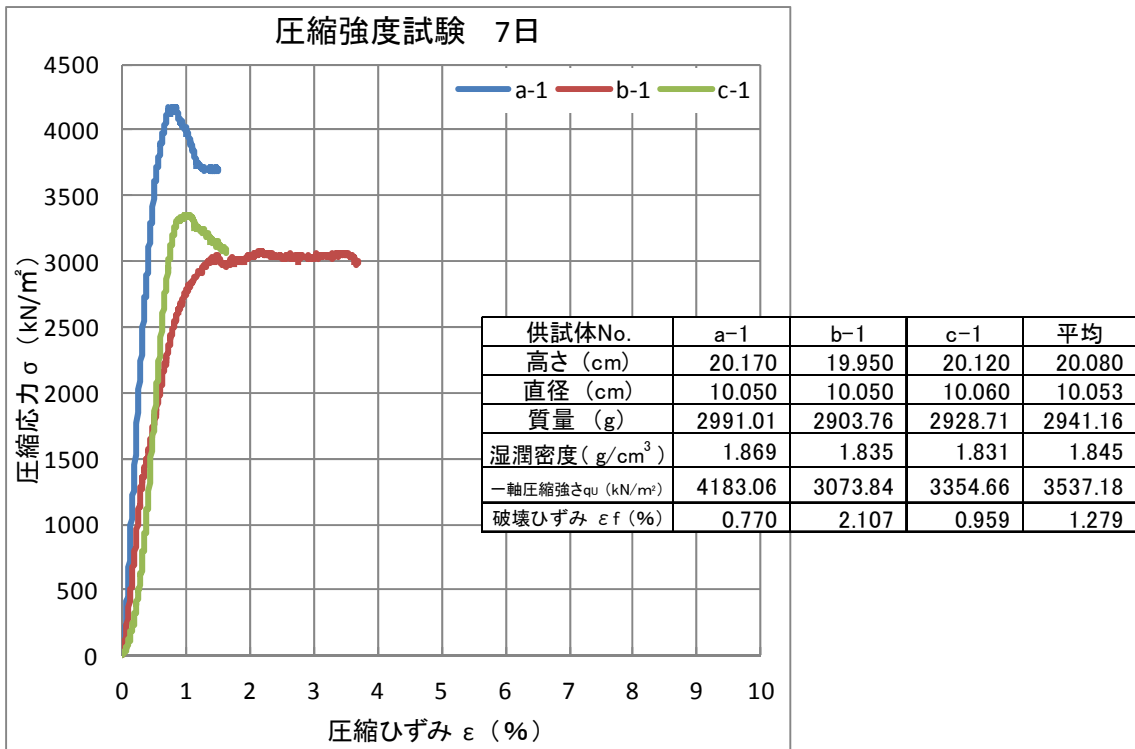


図 7.3.2.3-3 ブロックNo.2 一軸圧縮試験結果

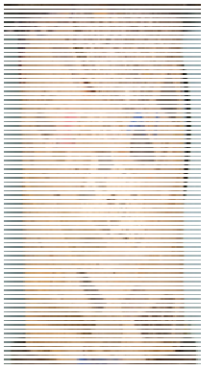

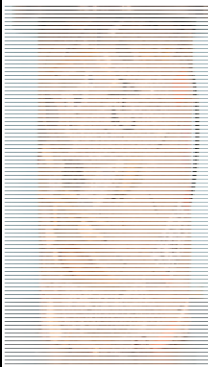
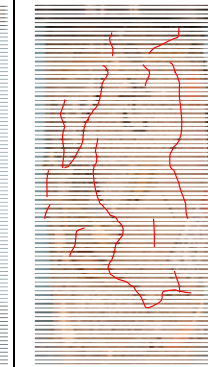


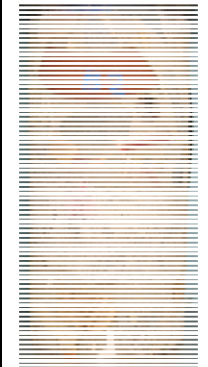
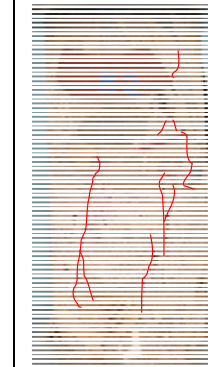




圧縮強度試験 圧縮前後比較 ブロック No.2 材令 7 日			圧縮強度試験 圧縮前後比較 ブロック No.2 材令 28 日		
	圧縮前	圧縮後		圧縮前	圧縮後
a-1			a-2		
<ul style="list-style-type: none"> ・クラックの発生は少ない。(ヘアクラック程度)。 ・混入物のコンクリートに、クラック発生。 			<ul style="list-style-type: none"> ・木片が貫通しており、それが境にクラック発生 		
b-1			b-2		
<ul style="list-style-type: none"> ・瓦、木片が水平に混入、それらを避けるように境に沿ってクラック発生。(剪断、剥離) ・脆い石が割れている。 			<ul style="list-style-type: none"> ・脆い石にクラックが発生し壊れた。 ・混入物(石など)に沿って、クラック発生。 		
c-1			c-2		
<ul style="list-style-type: none"> ・混入物(木片、石)に沿って、クラック発生。 ・中央部にホース(中空状)で、クラックが止まっている。 			<ul style="list-style-type: none"> ・混入物(金属、プラスチック)に沿って、クラック発生。 		

図-7.3.2.3-4 ブロックNo.2 一軸圧縮試験前後の供試体観察結果

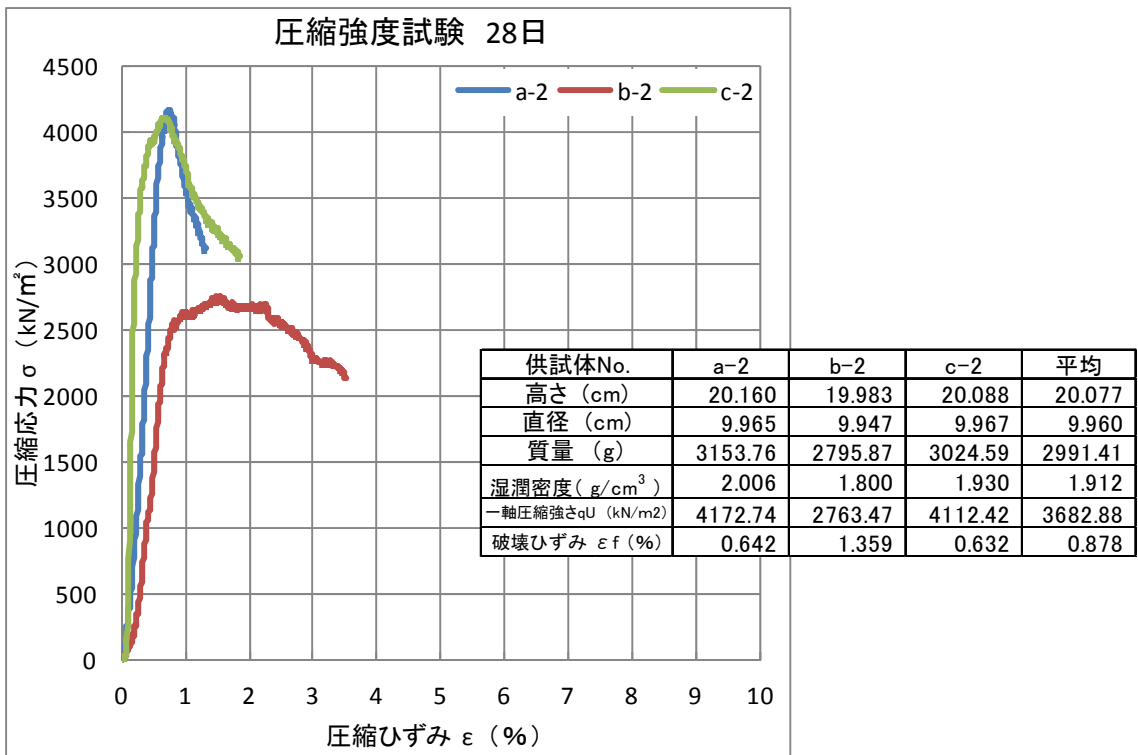
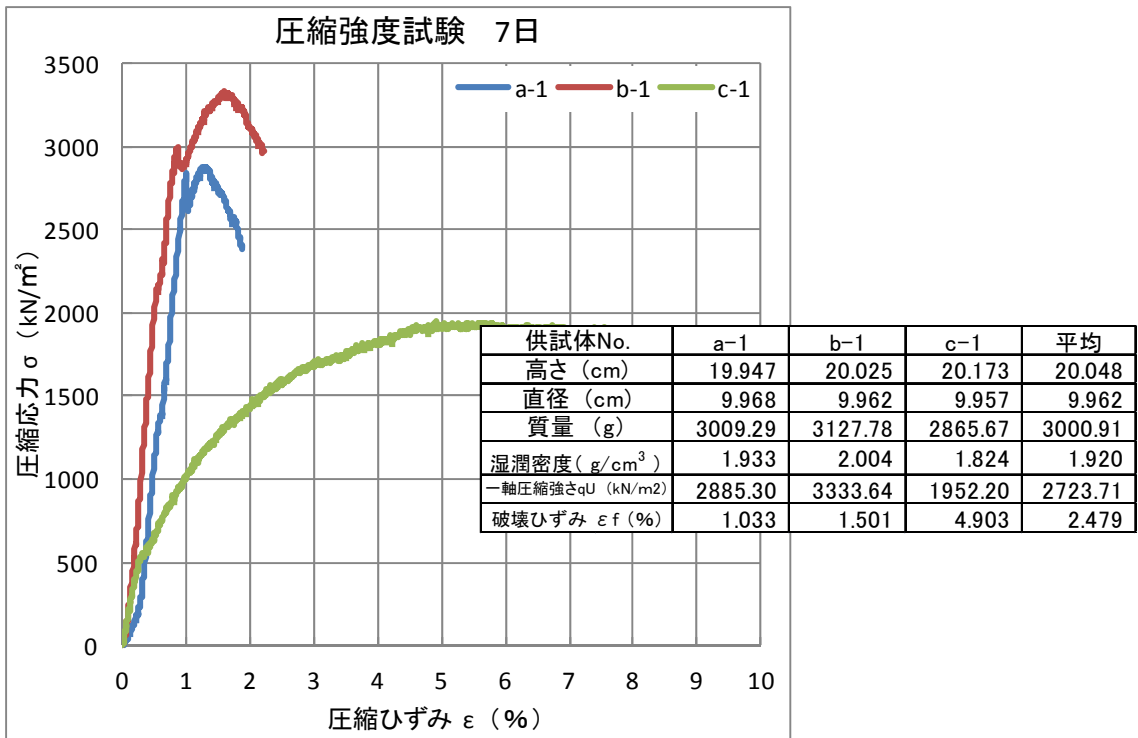


図 7.3.2.3-5 ブロックNo.3 一軸圧縮試験結果







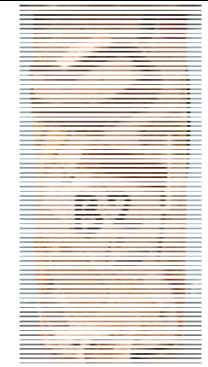





圧縮強度試験 圧縮前後比較 ブロック No.3 材令 7 日			圧縮強度試験 圧縮前後比較 ブロック No.3 材令 28 日		
	圧縮前	圧縮後		圧縮前	圧縮後
a-1			a-2		
<ul style="list-style-type: none"> ・五角形の金属パイプが貫通しており、パイプの角からクラック発生。 ・混入物（コンクリート）にクラック発生。 			<ul style="list-style-type: none"> ・小さな石やアスファルト片等の、混入物が密集している部にクラック集中。 ・混入物の縁に沿ってクラック発生（剥離、） 		
b-1			b-2		
<ul style="list-style-type: none"> ・中央部の混入物（砥石）の、角からクラック発生。 ・上部に布（繊維）が混入、クラックの発生なし。 			<ul style="list-style-type: none"> ・水平方向にクラック発生、混入物（石）が割れる。 ・混入物の木片が貫通している。上部にウレタンゴム混入。 		
c-1			c-2		
<ul style="list-style-type: none"> ・木片が水平方向に混入、圧縮変形し荷重が木片以外の部位へ集中、圧壊した。 			<ul style="list-style-type: none"> ・混入物のコンクリート塊に、クラック発生。 		

図 7.3.2.3-6 ブロック No.3 一軸圧縮試験前後の供試体観察結果

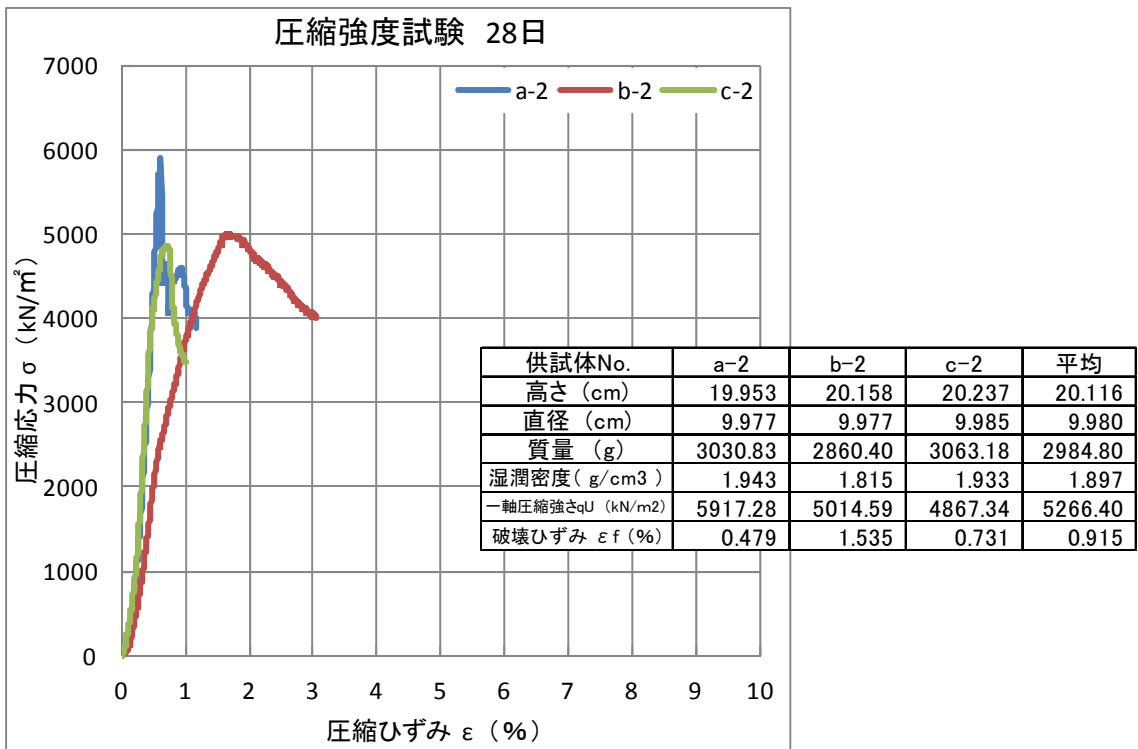
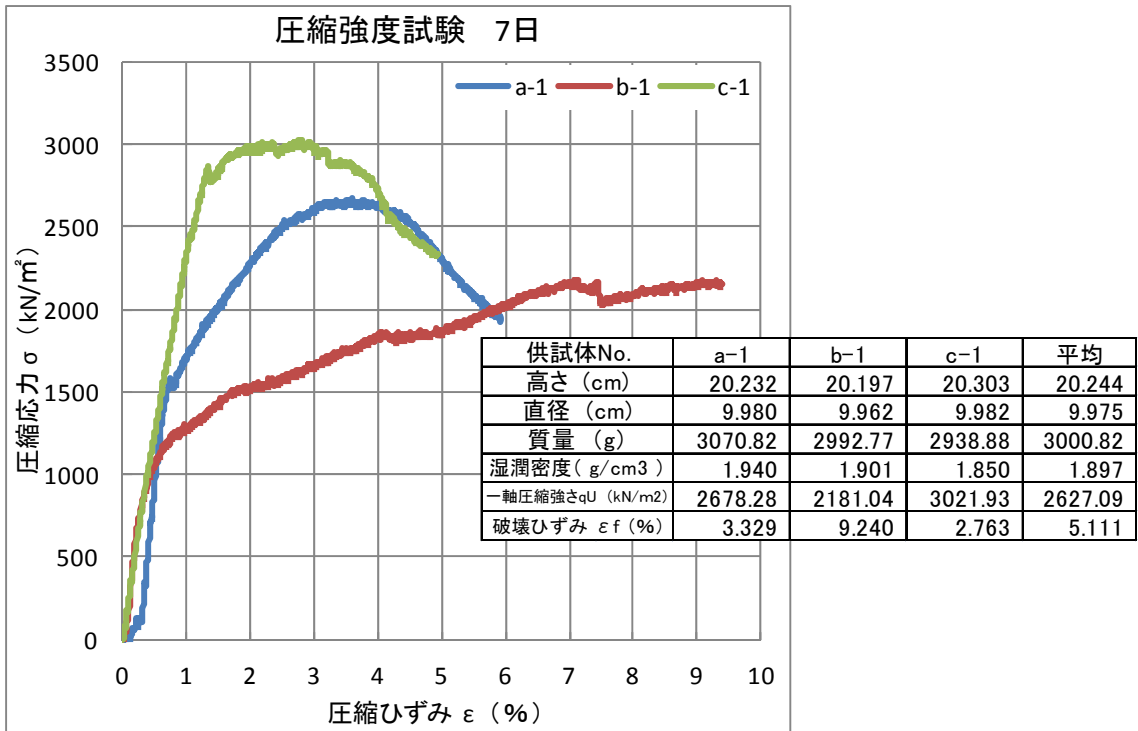


図 7.3.2.3-7 ブロックNo.4 一軸圧縮試験結果

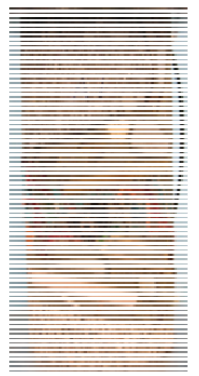




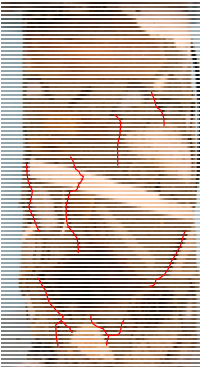


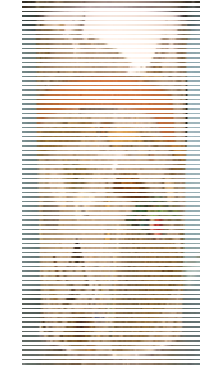



圧縮強度試験 圧縮前後比較		
ブロック No.4 材令 7 日		
	圧縮前	圧縮後
a-1		
<ul style="list-style-type: none"> ・上部にアスファルト塊、変形、クラック発生。 ・中央部に布繊維混入、クラックなし。 		
b-1		
<ul style="list-style-type: none"> ・混入物に沿ってクラック発生。 ・上部のコンクリート塊にクラック発生。(割裂) 		
c-1		
<ul style="list-style-type: none"> ・中央部に薄いセラミック?が斜めに混入、クラック発生 ・下部に木片(方形)が貫通、木片の角からクラック発生 		
圧縮強度試験 圧縮前後比較		
ブロック No.4 材令 28 日		
	圧縮前	圧縮後
a-2		
<ul style="list-style-type: none"> ・混入物(石等)の縁に沿ってクラック発生 ・側面に発生したクラックは、瓦にも発生。 		
b-2		
<ul style="list-style-type: none"> ・混入物(金属)の縁に沿ってクラック発生。(剪断、剥離) ・下部の砂岩が割れている。 		
c-2		
<ul style="list-style-type: none"> ・ヘアクラックが、鉛直方向に若干発生。 ・クラックは、混入物に沿う。混入物：瓦、木片、石など 		

図 7.3.2.3-8 ブロック No.4 一軸圧縮試験前後の供試体観察結果

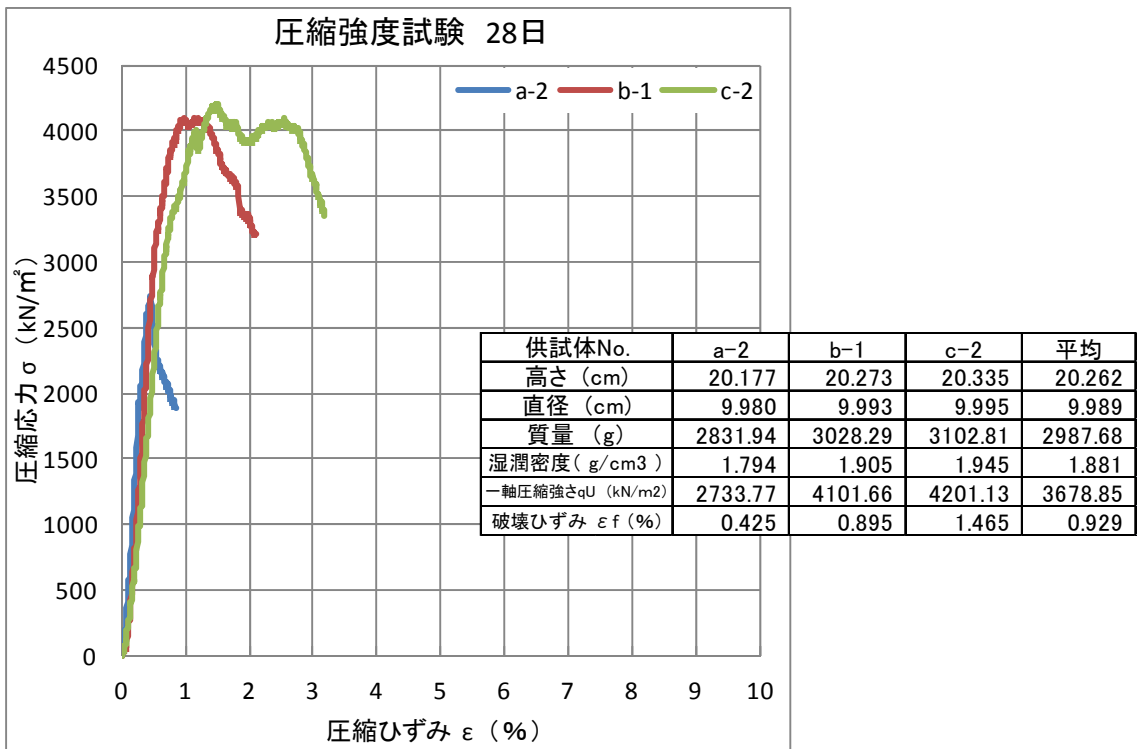
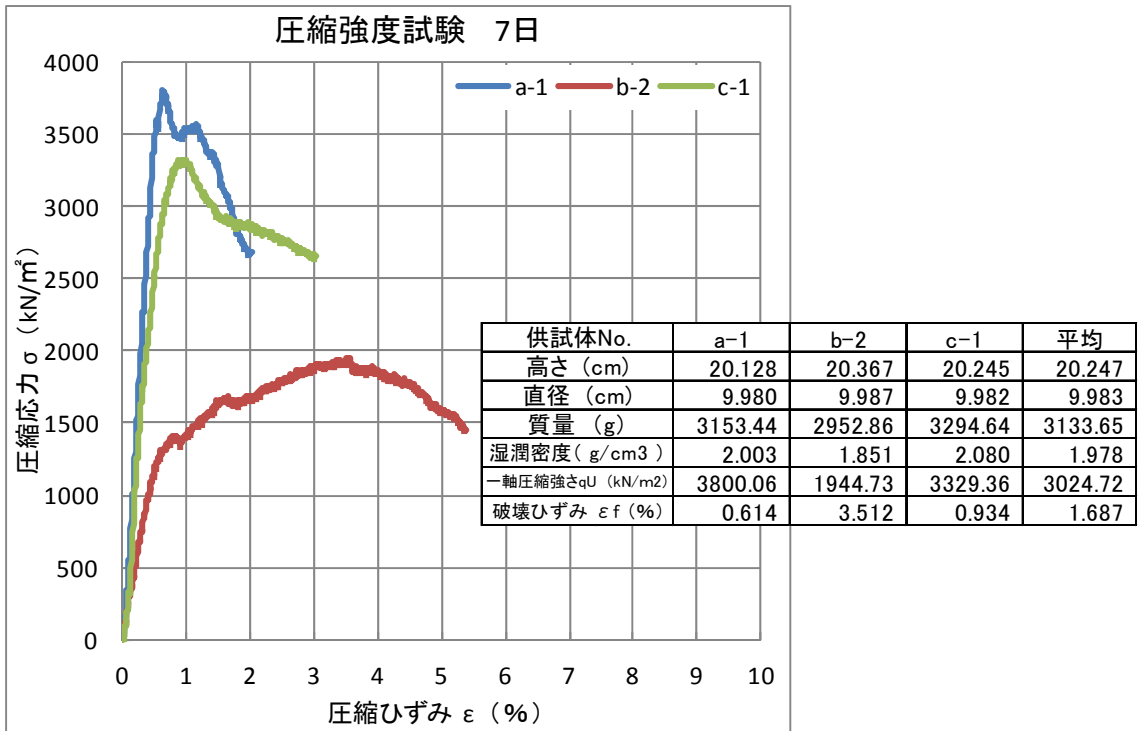


図 7.3.2.3-9 ブロックNo.5 一軸圧縮試験結果








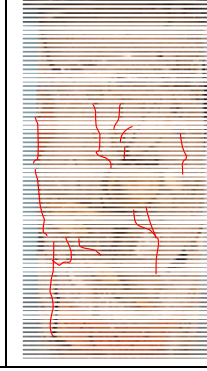
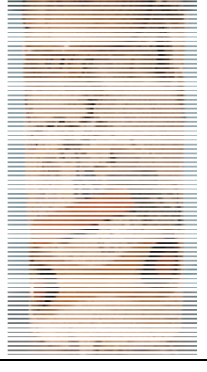


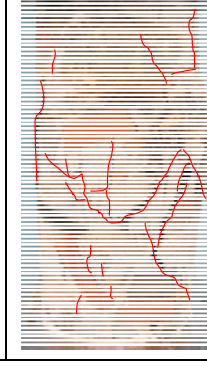
圧縮強度試験 圧縮前後比較 ブロック No.5 材令 7 日			圧縮強度試験 圧縮前後比較 ブロック No.5 材令 28 日		
	圧縮前	圧縮後		圧縮前	圧縮後
a-1			a-2		
<ul style="list-style-type: none"> ・側面部にクラックが発生（鉛直方向） ・混入物：石、木片、スポンジ、ビニール など 			<ul style="list-style-type: none"> ・クラックは少ない。 ・背面で脆い石がわれた。 		
b-2			b-1		
<ul style="list-style-type: none"> ・混入物に沿ってクラック発生（剪断、剥離） ・混入：プラスチック板、木片、石、コンクリート 			<ul style="list-style-type: none"> ・中心部に木片が貫通している。 ・中心部の木片が圧縮変形、クラック発生の起因。 		
c-1			c-2		
<ul style="list-style-type: none"> ・混入物に沿ってクラック発生（剪断、剥離） ・混入物：プラスチック、木片、金属、石 など 			<ul style="list-style-type: none"> ・木片（板）が水平に混入。 ・木片直下がより圧縮破壊した。混入物：木片、瓦、石など 		

図 7.3.2.3-10 ブロック No.5 一軸圧縮試験前後の供試体観察結果

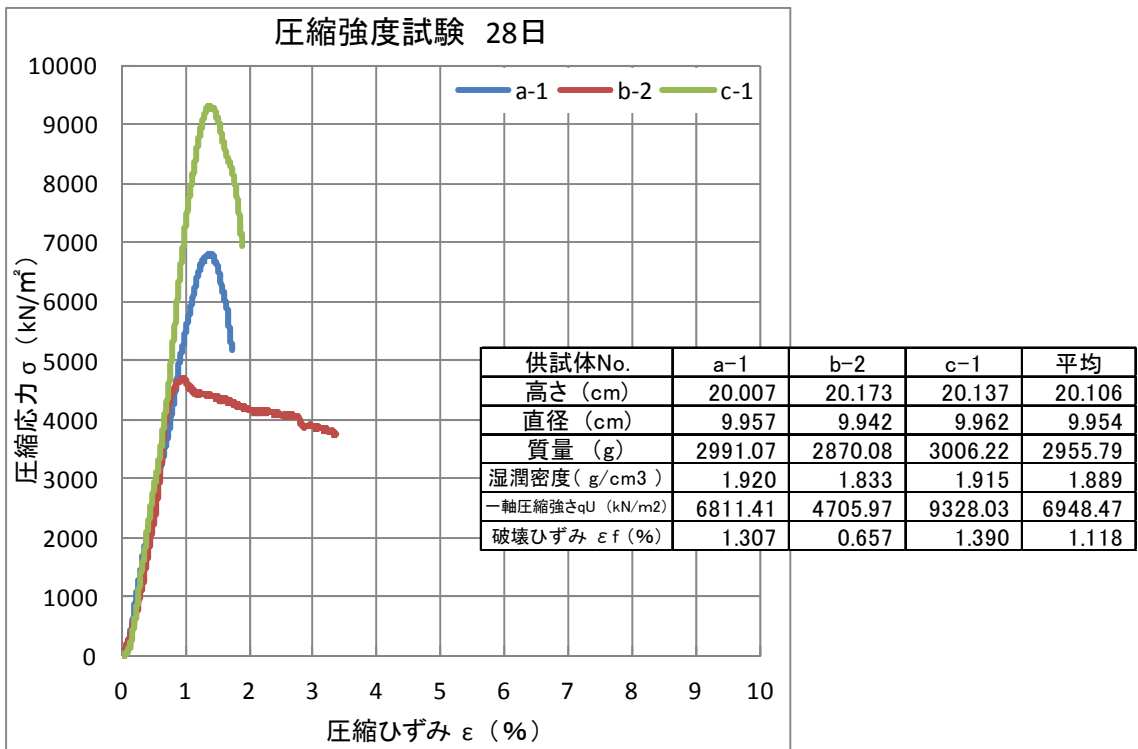
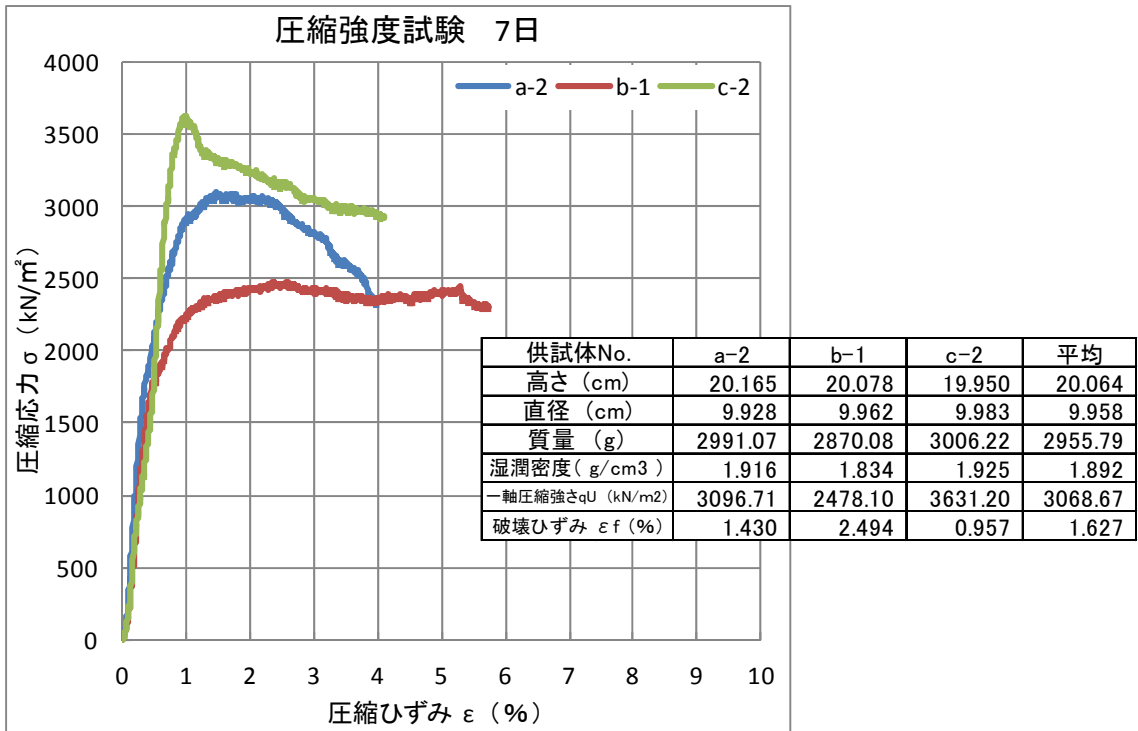


図 7.3.2.3-11 ブロックNo.6 一軸圧縮試験結果







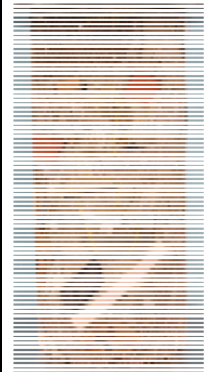
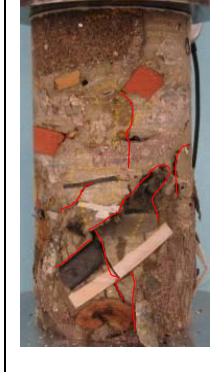


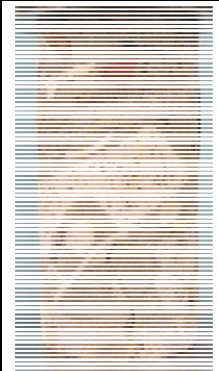

圧縮強度試験 圧縮前後比較 ブロック No.6 材令 7 日			圧縮強度試験 圧縮前後比較 ブロック No.6 材令 28 日		
	圧縮前	圧縮後		圧縮前	圧縮後
a-2			a-1		
<ul style="list-style-type: none"> ・中央部に石が密集している、背面にアスファルト塊あり。 ・混入物の間を縫う様にクラック発生、アスファルト割れ。 			<ul style="list-style-type: none"> ・混入物のコンクリート、石にクラック発生（鉛直方向） ・上部の石に沿って、クラック発生（剪断、剥離） 		
b-1			b-2		
<ul style="list-style-type: none"> ・木片が水平方向に混入 ・木片が圧縮変形、それを避ける様にクラック発生。 			<ul style="list-style-type: none"> ・混入物に沿ってクラック発生、圧縮破壊している。 ・セラミック板割れる、繊維混入部クラックなし 		
c-2			c-1		
<ul style="list-style-type: none"> ・上部の木片と下部の瓦が、水平に混入しその間で圧縮破壊 			<ul style="list-style-type: none"> ・上部：変形、クラックは診うけられない。 ・下部：混入物（プラスチック）に沿ってクラック（剪断） 		

図 7.3.2.3-12 ブロックNo.6 一軸圧縮試験前後の供試体観察結果

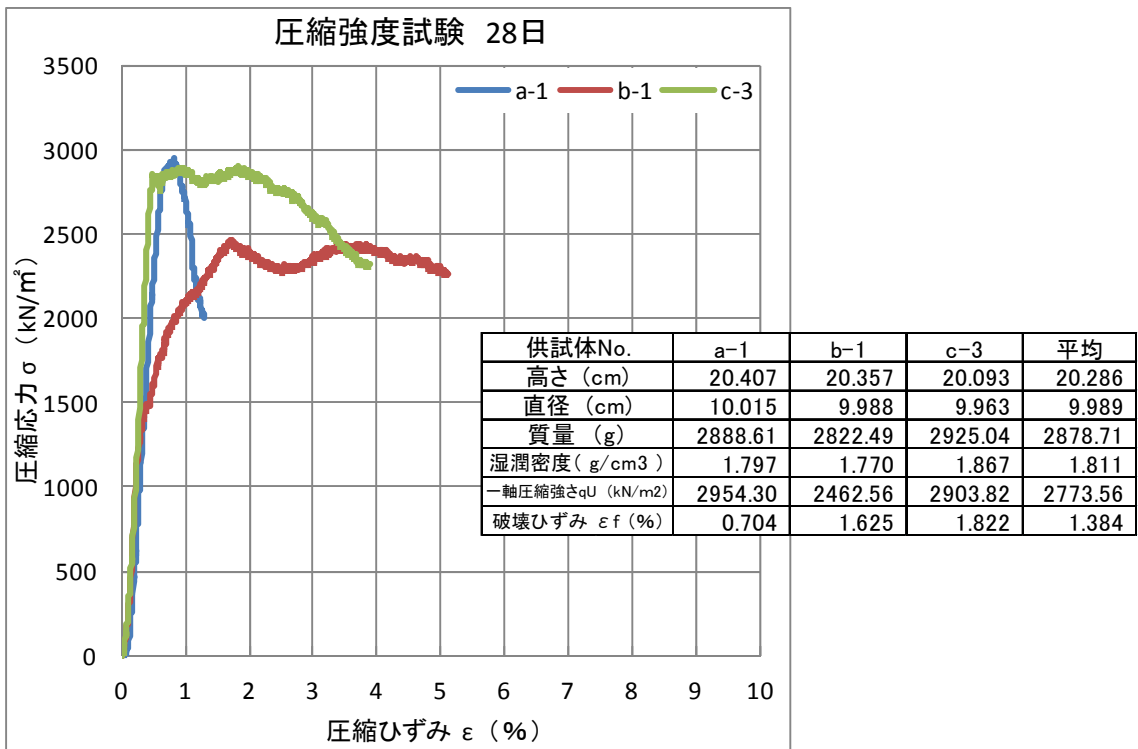
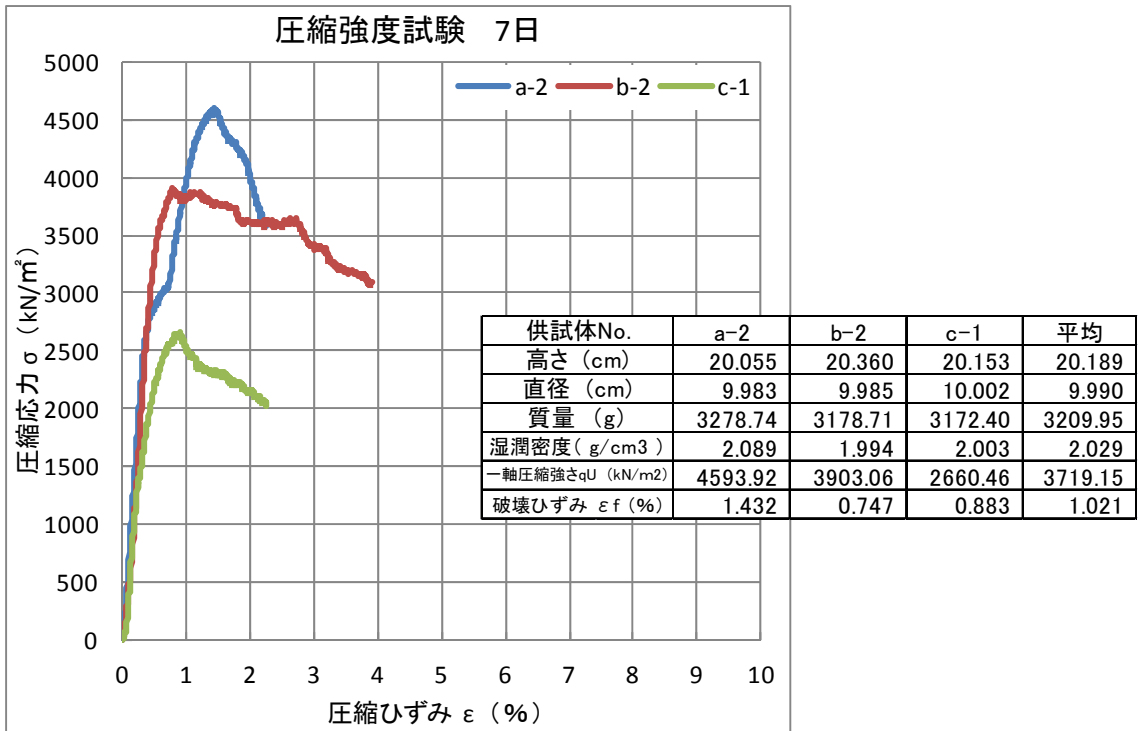



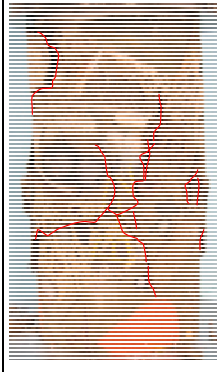

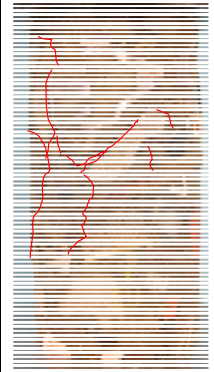


図 7.3.2.3-13 ブロックNo.7 一軸圧縮試験結果

圧縮強度試験 圧縮前後比較		
ブロック No.7 材令 7日		
	圧縮前	圧縮後
a-2		
	<ul style="list-style-type: none"> ・混入物（アスファルト塊）に、変形あり。 ・混入物（プラスチック）に沿って、クラック発生。（剪断） 	
b-2		
	<ul style="list-style-type: none"> ・上部に混入した布（繊維）でクラックが止まっている。 ・コンクリート塊にクラック、割裂している。 	
c-1		
	<ul style="list-style-type: none"> ・混入物（金属、木片、石など）沿って、クラック発生。 ・背面で斜めに混入した、石・木片に沿ってクラック（剪断） 	







圧縮強度試験 圧縮前後比較		
ブロック No.7 材令 28日		
	圧縮前	圧縮後
a-1		
	<ul style="list-style-type: none"> ・混入物に沿って、クラック発生。 ・混入物：木片、アスファルト、瓦、金属片など（変化なし） 	
b-1		
	<ul style="list-style-type: none"> ・上部に木片が混入、それを避ける様に圧壊した。 ・中央部の石が割れる。 	
c-3		
	<ul style="list-style-type: none"> ・上部にコンクリート板、下部に木片（板）が混入。その間で圧壊し、クラックが集中している。 	

図 7.3.2.3-14 ブロックNo.7 一軸圧縮試験前後の供試体観察結果

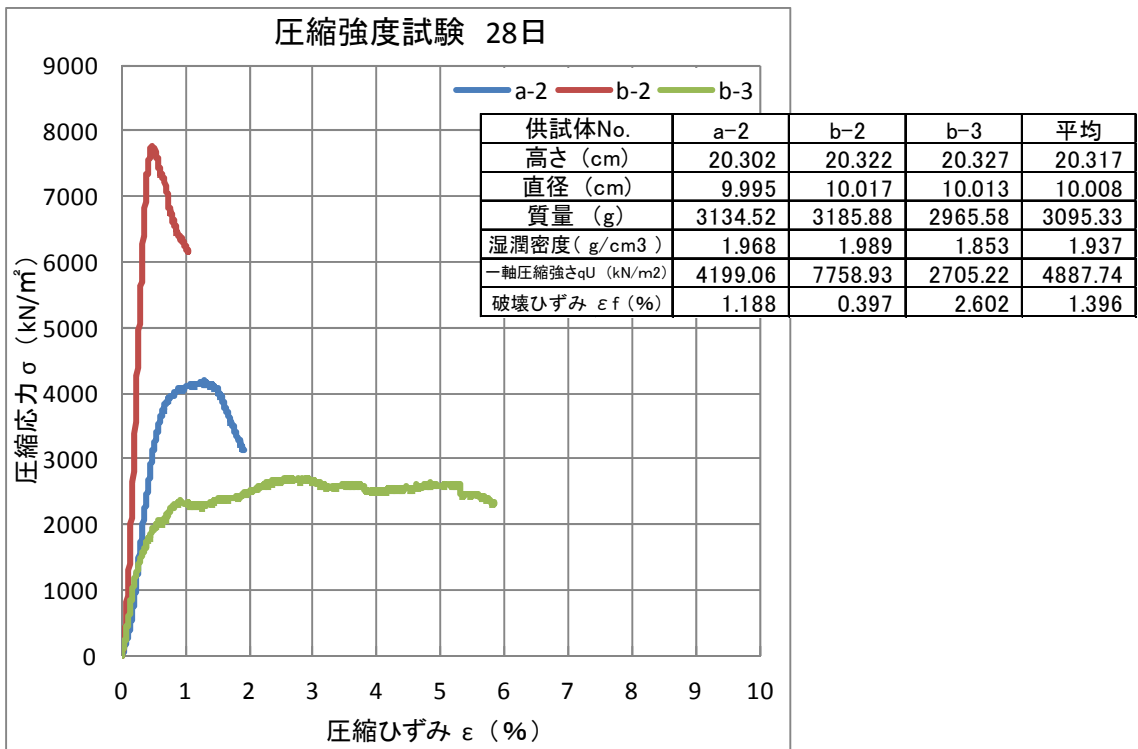
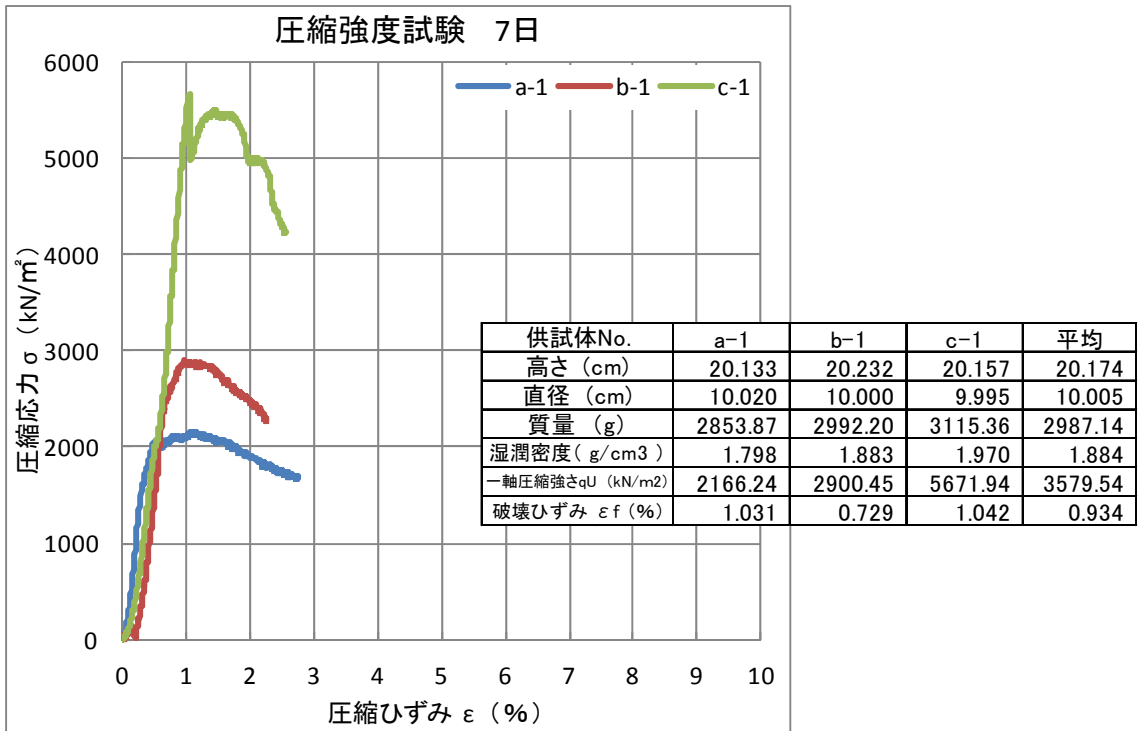


図 7.3.2.3-15 ブロックNo.8 一軸圧縮試験結果




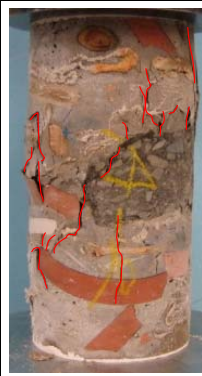







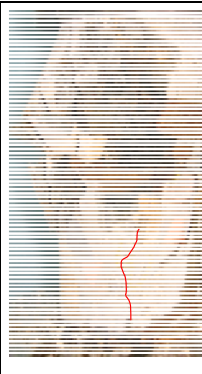
圧縮強度試験 圧縮前後比較			圧縮強度試験 圧縮前後比較		
ブロック No.8 材令 7日			ブロック No.8 材令 28日		
	圧縮前	圧縮後		圧縮前	圧縮後
a-1			a-2		
	<ul style="list-style-type: none"> ・混入物（コンクリート等）に沿って、クラック発生。 ・内部の混入物(ゴルフボール) によって割裂、剥離している。 			<ul style="list-style-type: none"> ・混入物（アスファルト、瓦など）に沿って、クラック発生。 ・アスファルト：変形なし、瓦：クラックあり 	
b-1			b-2		
	<ul style="list-style-type: none"> ・混入物が細かく、短いクラックが多数発生。 ・背面全長に渡り、鉛直のクラックが発生。 			<ul style="list-style-type: none"> ・混入物に沿ってクラックが、発生する。 ・背面に岩塊あり、クラック発生。 	
c-1			b-3		
	<ul style="list-style-type: none"> ・上部の砂岩にクラック発生。 ・中央部に岩塊があり、荷重が分散しクラック側面に発生。 			<ul style="list-style-type: none"> ・上部に混入した木片が、圧縮変形した。 ・木片の混入が無い部位に荷重が集中、圧壊した。 	

図 7.3.2.3-16 ブロックNo.8 一軸圧縮試験前後の供試体観察結果

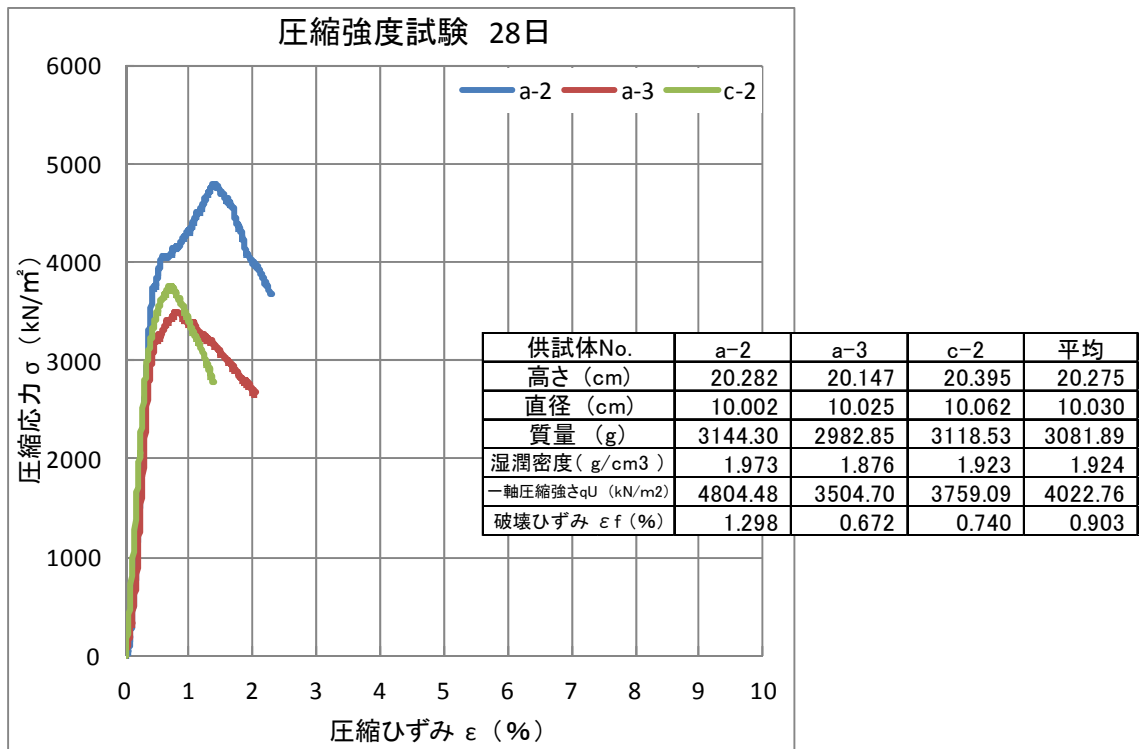
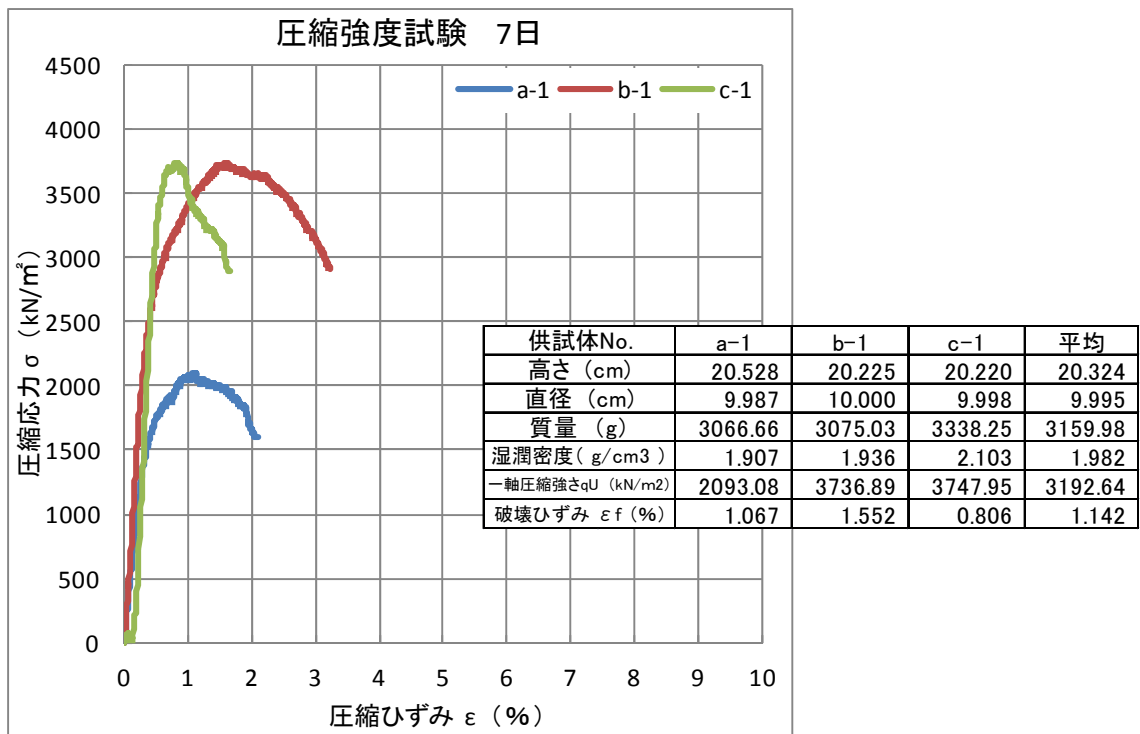


図 7.3.2.3-17 ブロックNo.9 一軸圧縮試験結果




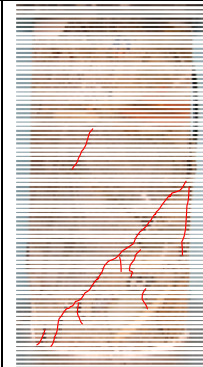



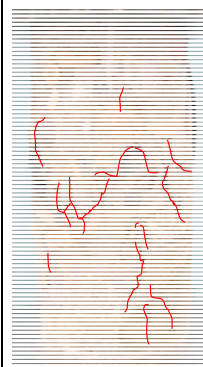




圧縮強度試験 圧縮前後比較 ブロック No.9 材令 7 日			圧縮強度試験 圧縮前後比較 ブロック No.9 材令 28 日		
	圧縮前	圧縮後		圧縮前	圧縮後
a-1			a-2		
<ul style="list-style-type: none"> ・混入物（コンクリート、瓦等）に沿って、クラック発生。 ・背面側で石が割れる。 			<ul style="list-style-type: none"> ・混入物（岩塊）に沿ってクラック発生。（剪断） ・背面側で圧縮破壊 		
b-1			a-3		
<ul style="list-style-type: none"> ・混入物に沿って、クラック発生。 ・混入物が比較的小さい。 			<ul style="list-style-type: none"> ・混入物の脆い石に、クラック発生。 ・混入物に沿って、クラック発生。 		
c-1			c-2		
<ul style="list-style-type: none"> ・混入物（石、金属など）に沿って、クラック発生。 ・下部に金属が水平に混入、クラックが金属で止まる。 			<ul style="list-style-type: none"> ・表側のクラックは、短く発生量は少ない。 ・背面、側面にクラック発生、背面に繊維混入ありクラックは繊維混入部で止まる。 		

図 7.3.2.3-18 ブロック No.9 一軸圧縮試験前後の供試体観察結果

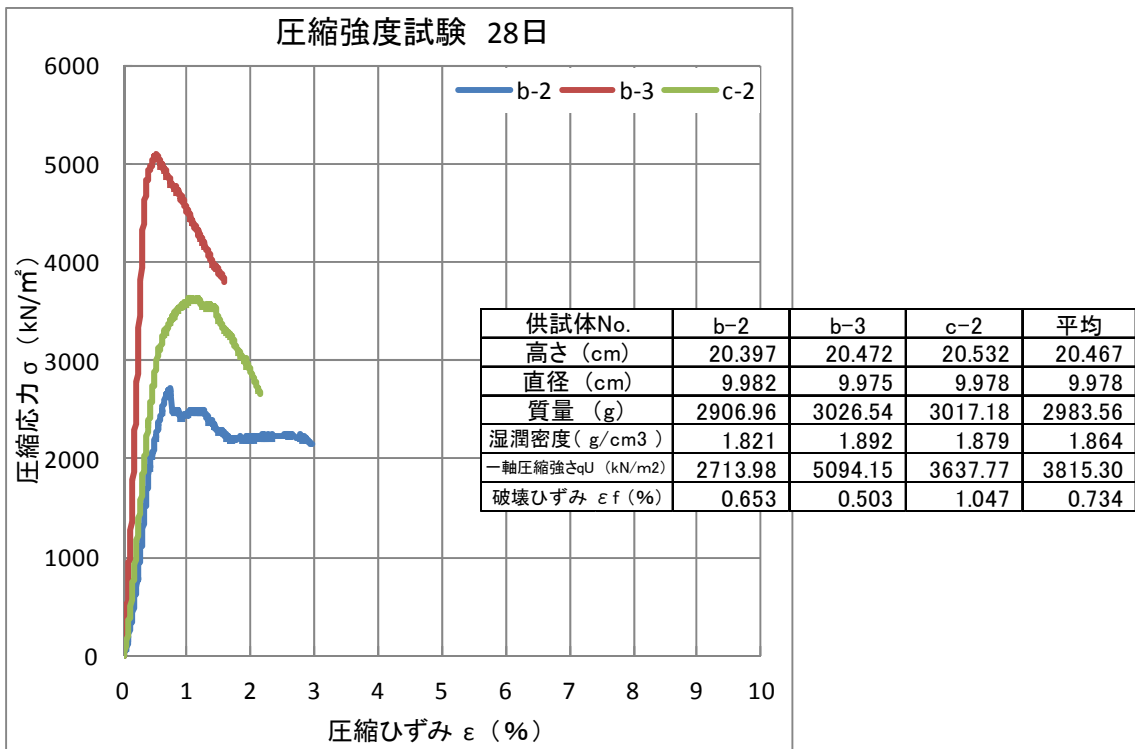
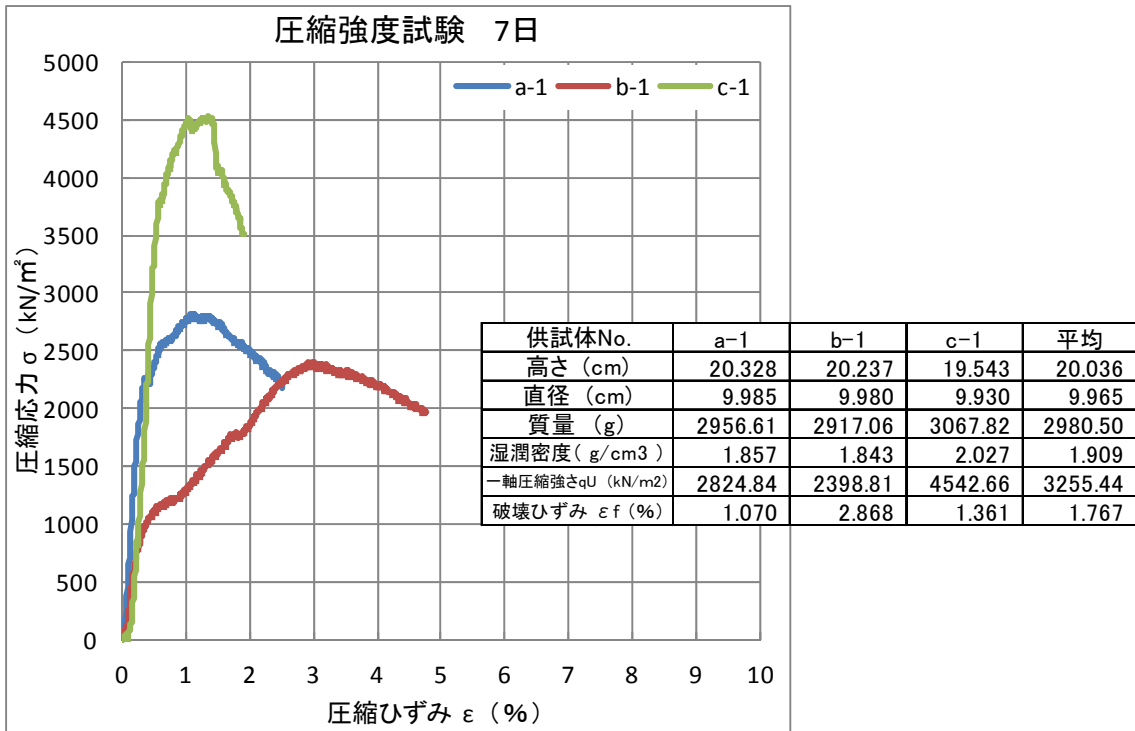


図 7.3.2.3-19 ブロックNo.10 一軸圧縮試験結果




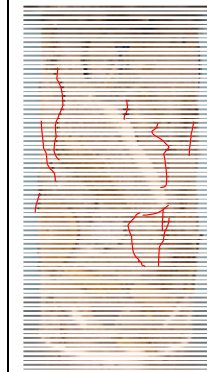



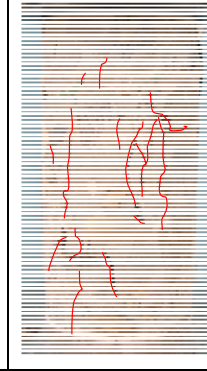



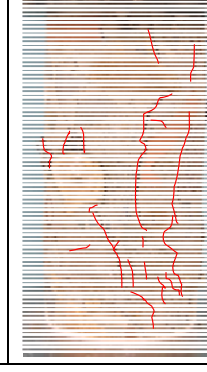
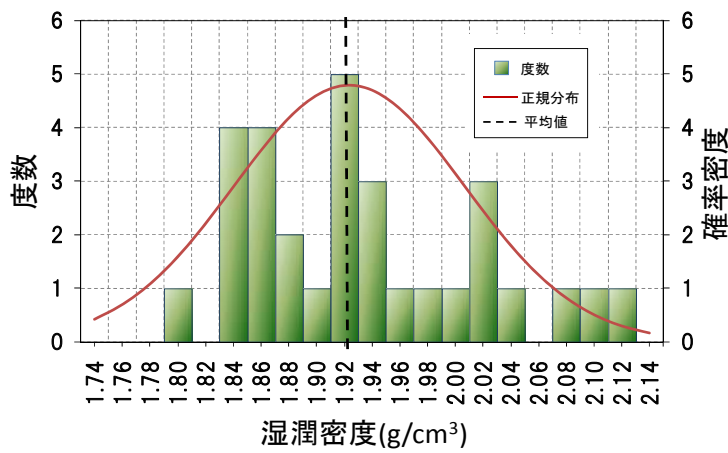
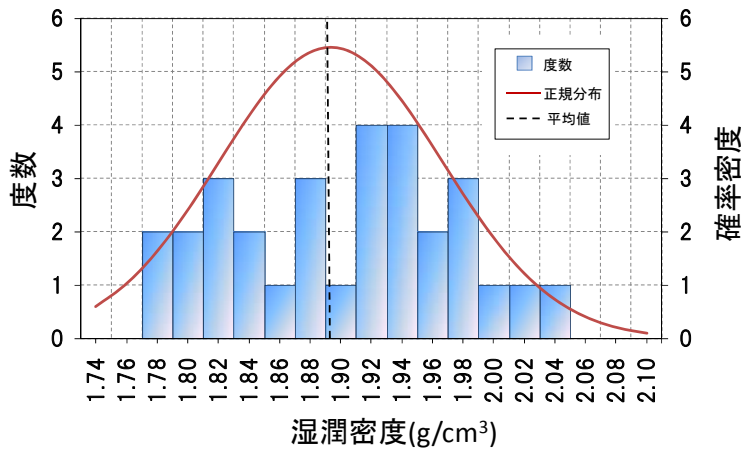
圧縮強度試験 圧縮前後比較			圧縮強度試験 圧縮前後比較		
ブロック No.10 材令 7 日			ブロック No.10 材令 28 日		
	圧縮前	圧縮後		圧縮前	圧縮後
a-1			b-2		
<ul style="list-style-type: none"> ・中央部に塩ビ板が水平に混入。 ・混入物は小さな物が多く、比較的少ない。 			<ul style="list-style-type: none"> ・混入物（セラミックなど）に沿ってクラック発生。（剪断） ・背面に木片、ゴムが水平に混入 		
b-1			b-3		
<ul style="list-style-type: none"> ・混入物に沿って、クラックが発生。 ・混入物は比較的小さく、クラックは多発。 			<ul style="list-style-type: none"> ・混入物（プラスチック、金属など）に沿ってクラック発生。 ・木片の混入は、少ない。 		
c-1			c-2		
<ul style="list-style-type: none"> ・混入物に沿ってクラック発生。（剪断、剥離） ・混入物は比較的大きな物（コンクリート、石）が多い。 			<ul style="list-style-type: none"> ・混入物に沿って、クラック発生。 ・側面部に大きな岩塊が混入、クラック発生。 		

図 7.3.2.3-20 ブロックNo.10 一軸圧縮試験前後の供試体観察結果



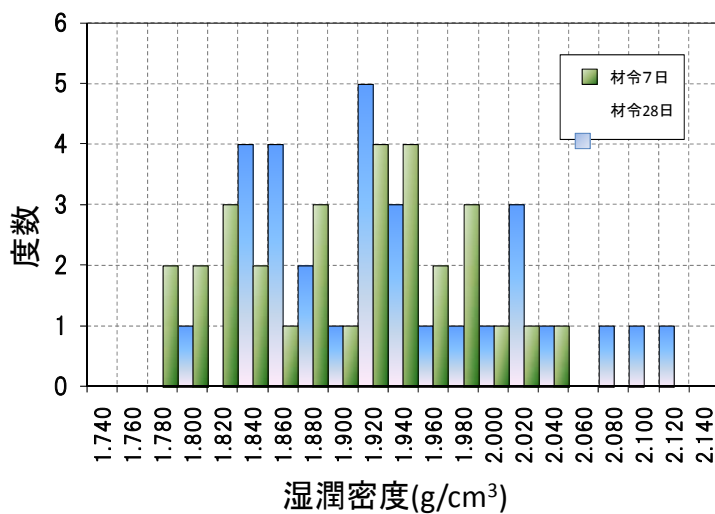
平均	1.924
最大値	2.103
最小値	1.798
最大値-最小値	0.305
標準偏差 σ	0.083
変動係数	4.32

(a) 材令7日



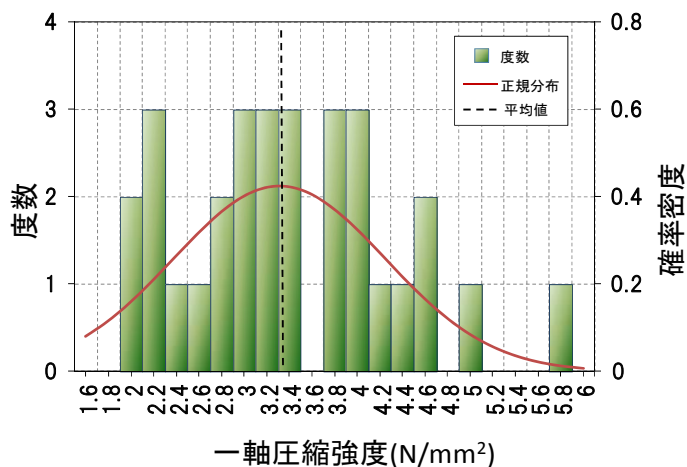
平均	1.894
最大値	2.033
最小値	1.770
最大値-最小値	0.263
標準偏差 σ	0.073
変動係数	3.86

(b) 材令28日



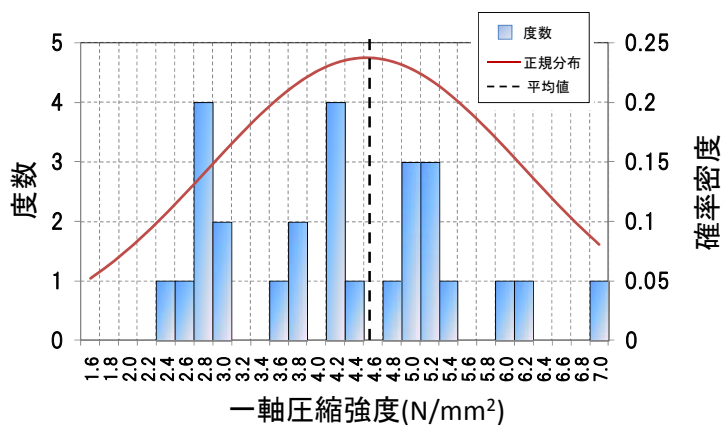
(c) 全データ

図 7.3.2.3-21 湿潤密度のヒストグラム



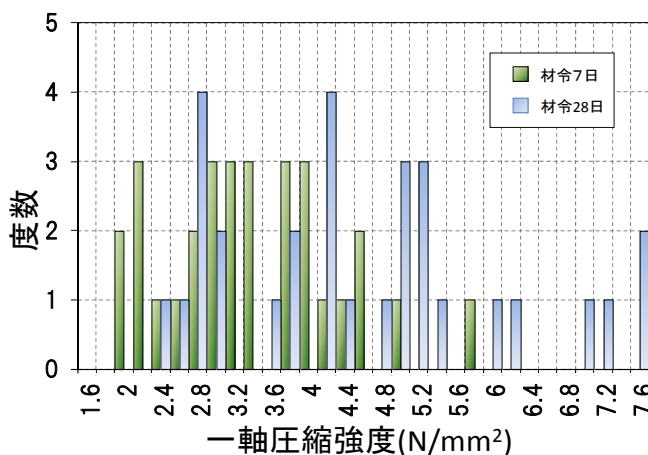
平均	3.313
最大値	5.672
最小値	1.945
最大値-最小値	3.727
標準偏差 σ	0.938
変動係数	28.32

(a) 材令 7 日



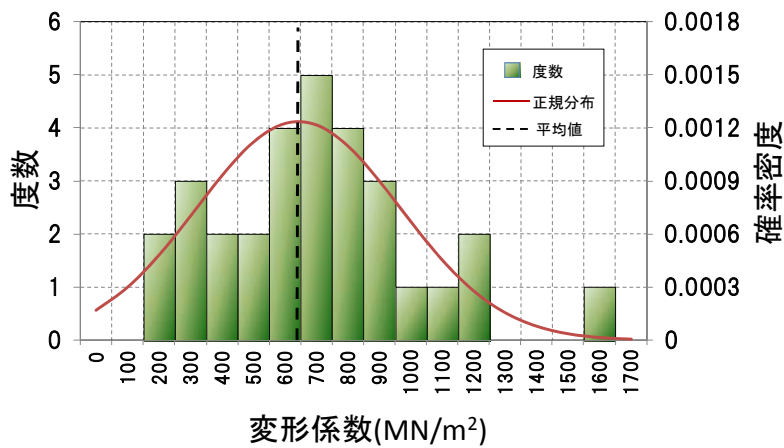
平均	4.529
最大値	9.328
最小値	2.314
最大値-最小値	7.014
標準偏差 σ	1.679
変動係数	37.08

(b) 材令 28 日



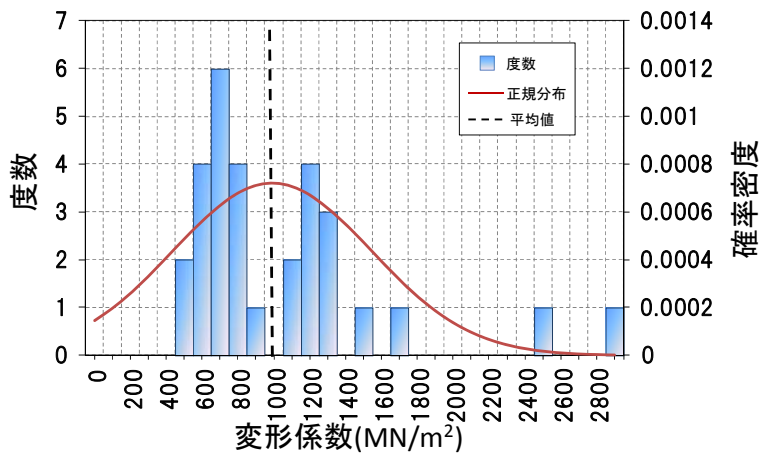
(c) 全データ

図 7.3.2.3-22 一軸圧縮強度のヒストグラム



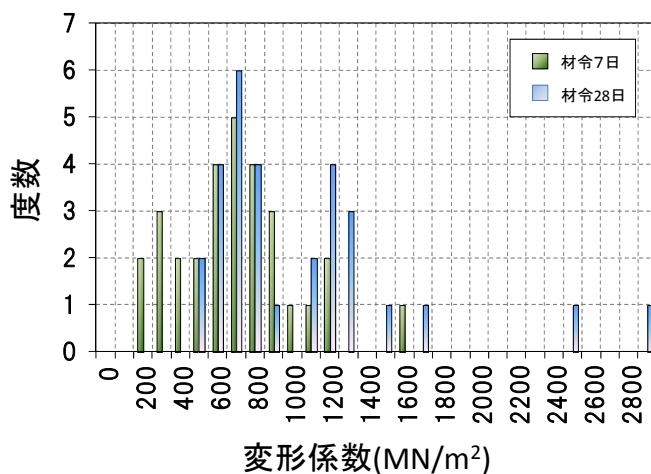
平均	642.978
最大値	1558.276
最小値	103.537
最大値-最小値	1454.739
標準偏差 σ	322.245
変動係数	50.12

(a) 材令 7 日



平均	990.446
最大値	2827.944
最小値	463.768
最大値-最小値	2364.176
標準偏差 σ	554.057
変動係数	55.94

(b) 材令 28 日



(c) 全データ

図 7.3.2.3-23 変形係数のヒストグラム

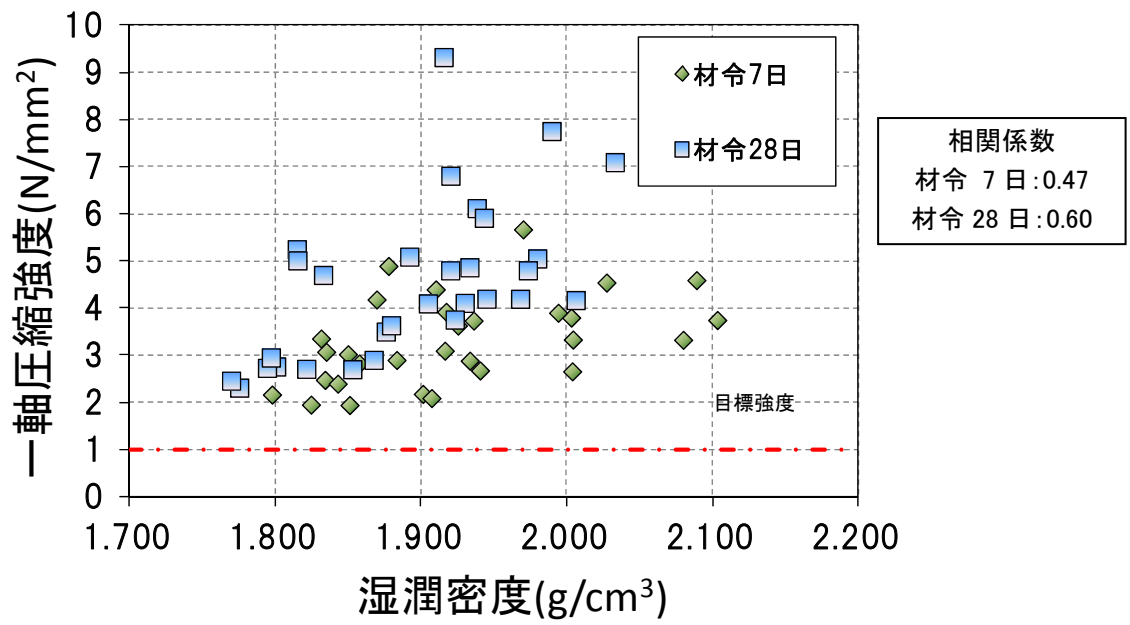


図 7.3.2.3-24 湿潤密度と一軸圧縮強度の関係

7.3.2.4 ブロック積上げ実験

盛土用ブロックの施工性を把握するために、盛土用ブロックの積上げ実験を実施した。以下に実験概要ならびに実験結果について述べる。

(1) 実験概要

1) 実験目的

製造した盛土用ブロックを使用し、配列および積上げを行うことにより、ブロックの施工性について検討を行った。

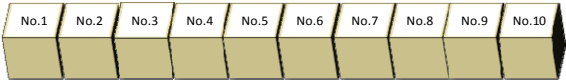
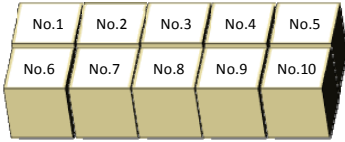

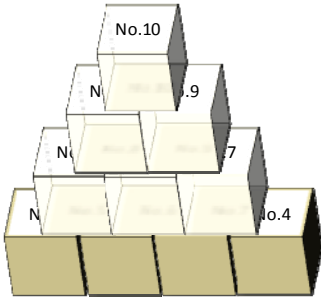
実験による確認内容を以下に示す。

- ・ブロックをクレーンで吊り上げ、設置した際の破損などの状況の確認
- ・ブロックを横に並べた際のブロックとブロックの間隔の確認
- ・ブロックを積み上げた際のブロックのガタつきや高さの確認

2) 実験ケース

盛土用ブロック積上げ実験の実験ケースを表 7.3.2.4-1 に示す。

表 7.3.2.4-1 実験ケース

実験ケース	配列	配列イメージ
Case1	1×10 (2回実施)	
Case2	2×5 (2回実施)	
Case3	3×3	
Case4	1×4 - 1×3 - 1×2 - 1×1	

(2) 実験結果

ブロック積上げ実験結果の一覧を表 7.3.2.4-2 に、各ケースのブロック積上げ実験結果を表 7.3.2.4-3~7.3.2.4-8 に示す。

盛土用ブロックのクレーンによる運搬は良好であり、ブロックの配列や積み上げによる破損はみられなかった。

ブロックの寸法計測結果の平均値より算出した水平方向の幅および高さと比較すると、ブロックとブロックの間の幅の平均値は 12mm、高さの平均値は 3.5mm であった。

4 段積み上げたブロックにガタつきはみられず、安定した状態であった。このことからガタつき調整用の不陸整正材は特に必要ないと考えられる。

積み上げを行う際にブロックの吊り紐が邪魔になるため、実際に盛土を構築する際には、積み上げ後に紐を切断する等の対処法を検討する必要がある。

表 7.3.2.4-2 ブロック積上げ実験結果一覧

		計測箇所	計測ブロック 個数	実測値 (mm)	ブロック平均幅 からの計算値 (mm)	実測値との差 (mm)	平均間隔 (mm)
Case1 1×10	1回目	A	10	7562	7470	92	10.2
	2回目	A1	10	7568	7470	98	10.9
		A2	10	7566	7470	96	10.7
Case2 2×5	1回目	A1	5	3758	3735	23	5.8
		A2	5	3776	3735	41	10.3
		B1	2	1510	1494	16	16
		B2	2	1515	1494	21	21
	2回目	A1	5	3778	3735	43	10.8
		A2	5	3775	3735	40	10.0
		B1	2	1510	1494	16	16
		B2	2	1500	1494	6	6
Case3 3×3	A1	3	2272	2241	31	15.5	
	A2	3	2262	2241	21	10.5	
	B1	3	2266	2241	25	12.5	
	B2	3	2275	2241	34	17	
Case4 1×4 1×3 1×2 1×1	a-b1幅	4	3020	2988	32	10.7	
	a-b2幅	4	3035	2988	47	15.7	
	c-d1幅	3	2275	2241	34	17	
	c-d2幅	3	2270	2241	29	14.5	
	e-f1幅	2	1500	1494	6	6	
	e-f2幅	2	1500	1494	6	6	
	g1高さ	4	3431	3420	11	3.7	
	g2高さ	4	3444	3420	24	8.0	
	h1高さ	4	3417	3420	-3	-1.0	
h2高さ	4	3430	3420	10	3.3		

平均間隔幅の平均(mm) 12.0

平均間隔高さの平均(mm) 3.5

表 7.3.2.4-3 積上げ実験結果 (Case1 1回目)

盛土ブロック積上げ実験									
配列 : 1×10 (1回目)									
計測結果									
No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9	No.10
実測値				A	7562 mm				
ブロック平均幅より算出した長さ					7470 mm				
実測値との差				A	92 mm				
平均間隔					10.2 mm				
実験時の状況									
コメント									
・ブロック配列時にブロックのかけなどの破損は見られなかった。									

表 7.3.2.4-4 積上げ実験結果 (Case1 2回目)

盛土ブロック積上げ実験		
配列	:1×10 (2回目 ブロックを90度回転)	
計測結果		
実測値	A1	7568 mm
	A2	7566 mm
ブロック平均幅より算出した長さ		7470 mm
実測値との差	A1	98 mm
	A2	96 mm
平均間隔	A1	10.9 mm
	A2	10.7 mm
実験時の状況		
コメント		
<ul style="list-style-type: none"> ・ブロック配列時にブロックのかけなどの破損は見られなかった。 		

表 7.3.2.4-5 積上げ実験結果 (Case2 1回目)

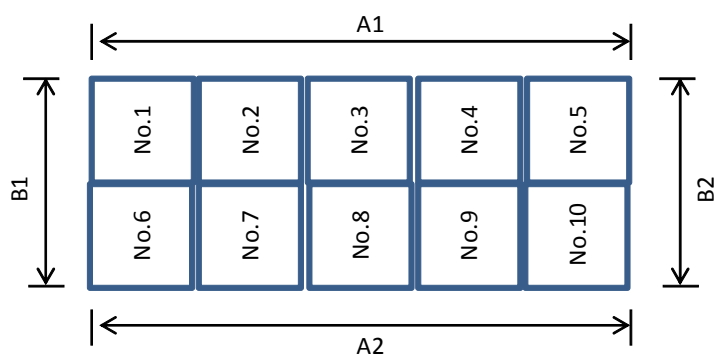
盛土ブロック積上げ実験				
配列	:2×5 (1回目)			
計測結果				
実測値	A1	3758 mm	B1	1510 mm
	A2	3776 mm	B2	1515 mm
ブロック平均幅より算出した長さ		3735 mm		1494 mm
実測値との差	A1	23 mm	B1	16 mm
	A2	41 mm	B2	21 mm
平均間隔	A1	5.8 mm	B1	16 mm
	A2	10.3 mm	B2	21 mm
実験時の状況				
コメント				
・ブロック配列時にブロックのかけなどの破損は見られなかった。				

表 7.3.2.4-6 積上げ実験結果 (Case2 2回目)

盛土ブロック積上げ実験

配列 : 2×5 (2回目: ブロックを90度回転)

計測結果



実測値	A1	3778 mm	B1	1510 mm
	A2	3775 mm	B2	1500 mm
ブロック平均幅より算出した長さ		3735 mm		1494 mm
実測値との差	A1	43 mm	B1	16 mm
	A2	40 mm	B2	6 mm
平均間隔	A1	10.8 mm	B1	16 mm
	A2	10.0 mm	B2	6 mm

実験時の状況



コメント

・ブロック配列時にブロックのかけなどの破損は見られなかった。

表 7.3.2.4-7 積上げ実験結果 (Case3)

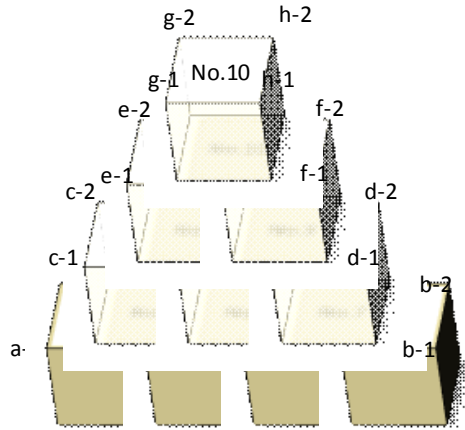
盛土ブロック積上げ実験				
配列	:3×3			
計測結果				
実測値	A1	2272 mm	B1	2266 mm
	A2	2262 mm	B2	2275 mm
ブロック平均幅より算出した長さ		2241 mm		2241 mm
実測値との差	A1	31 mm	B1	25 mm
	A2	21 mm	B2	34 mm
平均間隔	A1	15.5 mm	B1	12.5 mm
	A2	10.5 mm	B2	17 mm
実験時の状況				
コメント	・ブロック配列時にブロックのかけなどの破損は見られなかった。			

表 7.3.2.4-8 積上げ実験結果 (Case4)

盛土ブロック積上げ実験

配列 : 1×4-1×3-1×2-1×1

計測結果



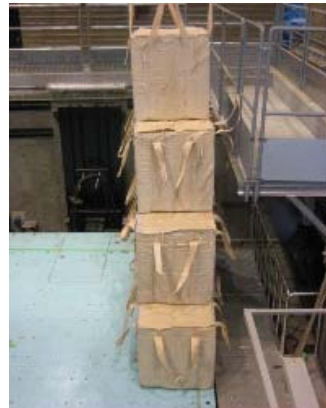
高さ(mm)

計測点	a	b	c	d	e	f	g	h
1	851	850	1702	1712	2562.5	2569	3431	3417
2	858	852.5	1712.5	1713	2570	2579	3444	3430
ブロック平均	855	855	1710	1710	2565	2565	3420	3420
平均との差 1	-4	-5	-8	2	-2.5	4	11	-3
平均との差 2	3	-2.5	2.5	3	5	14	24	10
平均間隔1	-	-	-8	2	-1.25	2	3.7	-1
平均間隔2	-	-	2.5	3	2.5	7	8	3.3

幅(mm)

計測点	a-b	c-d	e-f
1	3020	2275	1500
2	3035	2270	1500
ブロック平均	2988	2241	1494
平均との差 1	32	34	6
平均との差 2	47	29	6
平均間隔1	10.7	17.0	6
平均間隔2	15.7	14.5	6

実験時の状況



コメント

- ・ブロック配列時にブロックのかけなどの破損は見られなかった。
- ・ブロック積上げ後にガタつきはみられず、安定した状態であった。

7.3.2.5 まとめ

盛土用ブロックの配合・製造技術の開発の開発を行った。仙台市で採取したがれき残渣を用いた各種実験により得られた結果を以下に示す。

- ・今回対象としたがれき残渣はトン袋により、含水比、粒度分布等に差がみられた。少量のがれき残渣を用いて混練を行う場合には、試料のばらつきが大きいため、同一の配合でもセメントペースト混合後の性状、ならびに強度特性等が大きく異なる可能性が考えられる。
- ・配合決定のための選定試験により得られた今回対象としたがれき残渣に対する最適配合を以下に示す。この配合を用いて盛土用ブロック（10個）の製造を行った。

ケースNo.	W/C (%)	がれき 1 t 当たりのセメントペースト添加量 (L)	ブロック 1m ³ 当たりのセメント量 (kg)	ブロック 1m ³ 当たりのがれき量 (kg)
Case10	W/C=60	250	372	1381

- ・盛土用ブロックの出来形計測結果によれば、平均高さ 0.855m、平均幅 0.747m であり、高さ、幅ともに標準偏差σは 3mm であった。
- ・がれきの使用量は約 607kg であり、ブロック重量に対する割合は約 68%（重量比）であった。
- ・同一時期に採取したがれき残渣であっても、混合バッチ毎に性状が異なる傾向がみられ、砂分等の細かい粒子が少ないがれきの場合には、今回採用した配合でもセメントペーストが不足気味となる傾向がみられた。
- ・実際のがれき残渣は採取場所や養生状況等によっても性状が大きく異なると考えられ、がれき残渣の性状に応じた配合の検討が必要になると考えられるとともに、ブロック製造時には、性状に応じて添加量の増減等が必要になると考えられる。
- ・コアごとの湿潤密度のバラツキは大きいものの、平均値は材令 7 日で 1.924g/cm³、材令 28 日で 1.894g/cm³ と平均値に大きな差は見られず、また、ブロック全体より算出した湿潤密度の平均値 1.886g/cm³ と同程度であった。
- ・バラツキは多いものの材令 7 日の平均値 3.31N/mm² に比較して材令 28 日の平均値 4.53N/mm² の方が圧縮強度の平均値が大きくなる傾向がみられた。また、一軸圧縮強度はすべてのデータにおいて目標強度を上回る結果となった。
- ・盛土用ブロックの寸法計測結果の平均値より算出した水平方向の幅および高さと比較すると、ブロックとブロックの間の幅の平均値は 12mm、高さの平均値は 3.5mm であった。

- ・ 4 段積み上げたブロックにガタつきはみられず、安定した状態であった。このことからガタつき調整用の不陸整正材は特に必要ないと考えられる。

7.3.2.6 今後の課題と解決策

(1) 今後の課題

- ・がれき残渣は発生地域、集積地での分級・選別方法によって性状（組成、粒度）が大幅に異なる。がれき残渣の性状により最適配合も変化すると考えられ、組成、粒度に応じた配合の検討が必要である。
- ・今回の実験で採用した製造方法では、1.5 日の養生期間を必要とするため、大量のブロックを製造する場合には製造能力を向上させる必要がある。

(2) 解決策

- ・今回対象としたがれき残渣（仙台市荒浜搬入場で採取）以外のものを対象に配合検討を行う。
- ・二次製品ブロックで採用されたバイコン製法など、型枠の占有時間を短縮できる製造方法について検討を行う。

7.3.3 不溶化技術の開発

7.3.3.1 開発の流れ

当技術の開発の流れを図 7.3.3.1-1 に示す。

まず、がれき残渣の試料調整を行い、有害物質の溶出量と含有量を測定した。

次に、がれき残渣に人為的に有害物質を添加して模擬汚染がれきを作製した。これを用いてセメント固化体を作製し、溶出試験を実施した。

最後に、高アルカリ雰囲気におけるセメント固化体の溶出試験を実施した。

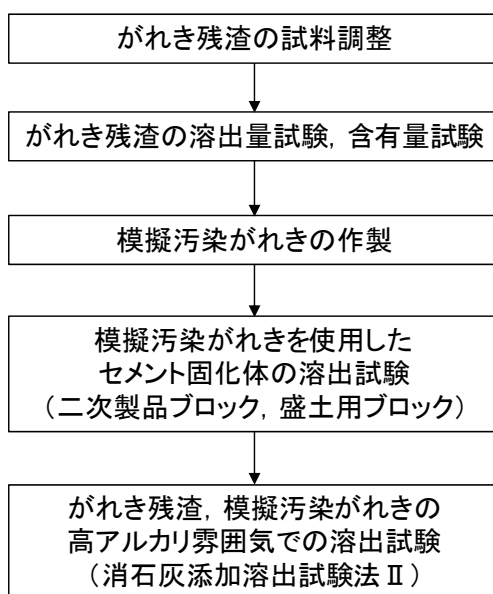


図 7.3.3.1-1 不溶化技術の開発の流れ

7.3.3.2 試験方法

(1) 対象物質について

試験においては、土壤汚染対策法において第二種特定物質(重金属等)に分類される 9 項目(カドミウム、シアン、鉛、六価クロム、砒素、水銀、セレン、ふっ素、ほう素)を対象とした。

土壤汚染対策法で定められている有害物質のうち、この 9 項目ががれきの中に揮発せずに存在する可能性があるものとしてを選択した。以下に対象物質の特徴を述べる。

1) 有害性について

対象物質は土壤汚染対策法にて人体へ及ぼす影響があり、把握及びその被害を防止する必要があるとされている。各物質の有害性についてまとめたものを表 7.3.3.2-1 に示す。

表 7.3.3.2-1 対象物質(重金属)の有害性

物質名	症 状
カドミウム	急性影響 : 咽頭痛、息切れ、呼吸困難、筋肉痛、発熱、肺水腫など
	慢性影響 : 閉塞性肺疾患、肺気腫、腎機能障害、イタイタイ病
シアン	毒性が非常に強い(青酸カリ) 頭痛、吐き気
鉛	食欲不振、頭痛、貧血、全身倦怠
	慢性症状 : 鉛蒼白、貧血、鉛緑、鉛仙痛
六価クロム	皮膚粘膜の炎症と腐蝕(潰瘍形成)、感作(皮膚炎、喘息)、発癌など
砒素	急性ヒ素中毒 : 重篤な胃腸障害(腹痛、嘔吐)、頻脈
	慢性ヒ素中毒 : 知覚障害、肝臓障害、皮膚沈着、皮膚がんなど
総水銀	感覚鈍麻やしびれ感、言語障害、運動失調、視野狭窄、難聴
セレン	急性毒性 : 呼吸困難、歩行異常、姿勢異常、衰弱、下痢
	慢性中毒 : 貧血、皮膚・胃腸障害、肝硬変
ふっ素	骨硬化症、脂質代謝障害、糖質代謝障害
ほう素	嘔吐、腹痛、下痢、吐き気

2) 準拠基準

重金属は急性的もしくは人体に蓄積されることによって重度の障害を引き起こすものが多いため、法的に規制されている。表 7.3.3.2-2 に各物質の法令基準値を示す。

本開発の目的は、アップサイクルブロックから有害物質が溶出して近接する土壌を汚染する可能性がないことを確認することである。このため、本開発では土壌汚染対策法の溶出基準に従うものとする。

表 7.3.3.2-2 各物質の法令基準値

種別	試験用法 単位	土 壌 汚 染 対 策 法			水質汚濁防止法	廃棄物処理法
		地下水基準	指定基準		排水基準	埋立処分判定基準
			含有量試験	溶出試験	溶出試験	溶出試験
	mg/L	mg/kg	mg/L	mg/L	mg/L	
1	トリクロロエチレン		-	0.03	0.3	0.3
2	テトラクロロエチレン	0.01	-	0.01	0.1	0.1
3	ジクロロメタン	0.02	-	0.02	0.2	0.2
4	四塩化炭素	0.002	-	0.002	0.02	0.02
5	1,2-ジクロロエタン	0.004	-	0.004	0.04	0.04
6	1,1-ジクロロエチレン	0.02	-	0.02	0.2	0.2
7	シス-1,2-ジクロロエチレン	0.04	-	0.04	0.4	0.4
8	1,1,1-トリクロロエタン	1	-	1	3	3
9	1,1,2-トリクロロエタン	0.006	-	0.006	0.06	0.06
10	1,3-ジクロロプロペン	0.002	-	0.002	0.02	0.02
11	ベンゼン	0.01	-	0.01	0.1	0.1
12	カドミウム	0.01	150	0.01	0.3	0.1
13	シアン化合物	不検出	遊離シアン50	不検出	1	1
14	鉛	0.01	150	0.01	0.3	0.1
15	六価クロム	0.05	250	0.05	1.5	0.5
16	ヒ素	0.01	150	0.01	0.3	0.1
17	水銀	0.0005	15	0.0005	0.005	0.005
	アルキル水銀	不検出	-	不検出	不検出	不検出
18	セレン	0.01	150	0.01	0.3	0.1
19	ふっ素	0.8	4000	0.8	24	8 (海域15)
20	ホウ素	1	4000	1	30	10 (海域230)
21	PCB	不検出	-	不検出	0.003	0.003
22	有機リン化合物	不検出	-	不検出	1	1
23	チウラム	0.006	-	0.006	0.06	0.06
24	シマジン	0.003	-	0.003	0.03	0.03
25	チオベンカルブ	0.02	-	0.02	0.2	0.2

(2) 環境庁告示 46 号溶出試験²⁾

① 採取したがれき残渣の取扱い

採取したがれき残渣はガラス製容器または測定の対象とする物質が吸着しない容器に収めた。試験はがれき残渣採取後直ちに行った。試験を直ちに行えない場合には、暗所に保存し、速やかに試験を行った。

② 試料の作製

採取したがれき残渣を風乾し、中小礫、木片等を除き、塊、団粒を粗砕した後、非金属製の 2mm の目のふるいを通過させて得たがれき残渣を十分混合した。

③ 試料液の調製

試料 (単位 g) と溶媒 (純水に塩酸を加え、水素イオン濃度指数(pH)が 5.8 以上 6.3 以下となるようにしたもの) (単位 ml) とを重量体積比 10% の割合で混合し、その混合液が 500ml 以上となるようにした。

④ 溶出

調製した試料液を常温 (おおむね 20°C) 常圧 (おおむね 1 気圧) で振とう機 (振とう回数毎分約 200 回、振とう幅 4cm 以上 5cm 以下) を用いて、6 時間連続して振とうした。

⑤ 検液の作成

①から④の操作を行って得られた試料液を 10~30 分程度静置後、毎分約 3,000 回転で 20 分間遠心分離した。上澄み液を孔径 0.45 μ m のメンブランフィルターでろ過してろ液を取り、定量に必要な量を正確に計り取って、これを検液とした。

7.3.3.3 がれき残渣の溶出特性

(1) がれき残渣の調整

がれき残渣の構成物は、コンクリートガラ、木材、布、プラスチック、金属くず、ガラスや煉瓦の破片などである。



写真 7.3.3.3-1 使用したがいれき残渣

試験を行う場合は、 $\phi 50 \times 100 \text{mm}$ のモールド缶で試験体を作製した。このため、二次製品ブロック、盛土用ブロックいずれも、実際に使用するがれきの大きさでは試験体を作製できなかった。そこで、試験用にがれきの調整を行った。組成は現状のがれき残渣のままとし、最大粒径のみ 10mm 以下にすることを目的として調整を行った。

調整したがいれき残渣の粒径は以下の 2 種類である。

- 環告 46 号溶出試験用 : 2mm 以下
- セメント固化体作製用、環告 19 号含有量試験用 : 2mm 以上 10mm 以下

また、本実験では、入手したがいれき残渣の山の 3 箇所から無作為に取り出し、3 種類のがれき残渣試料を調整した。調整のフローを図 7.3.3.3-1 に、調整後のがれき残渣の外観を図 7.3.3.3-2 に示す。

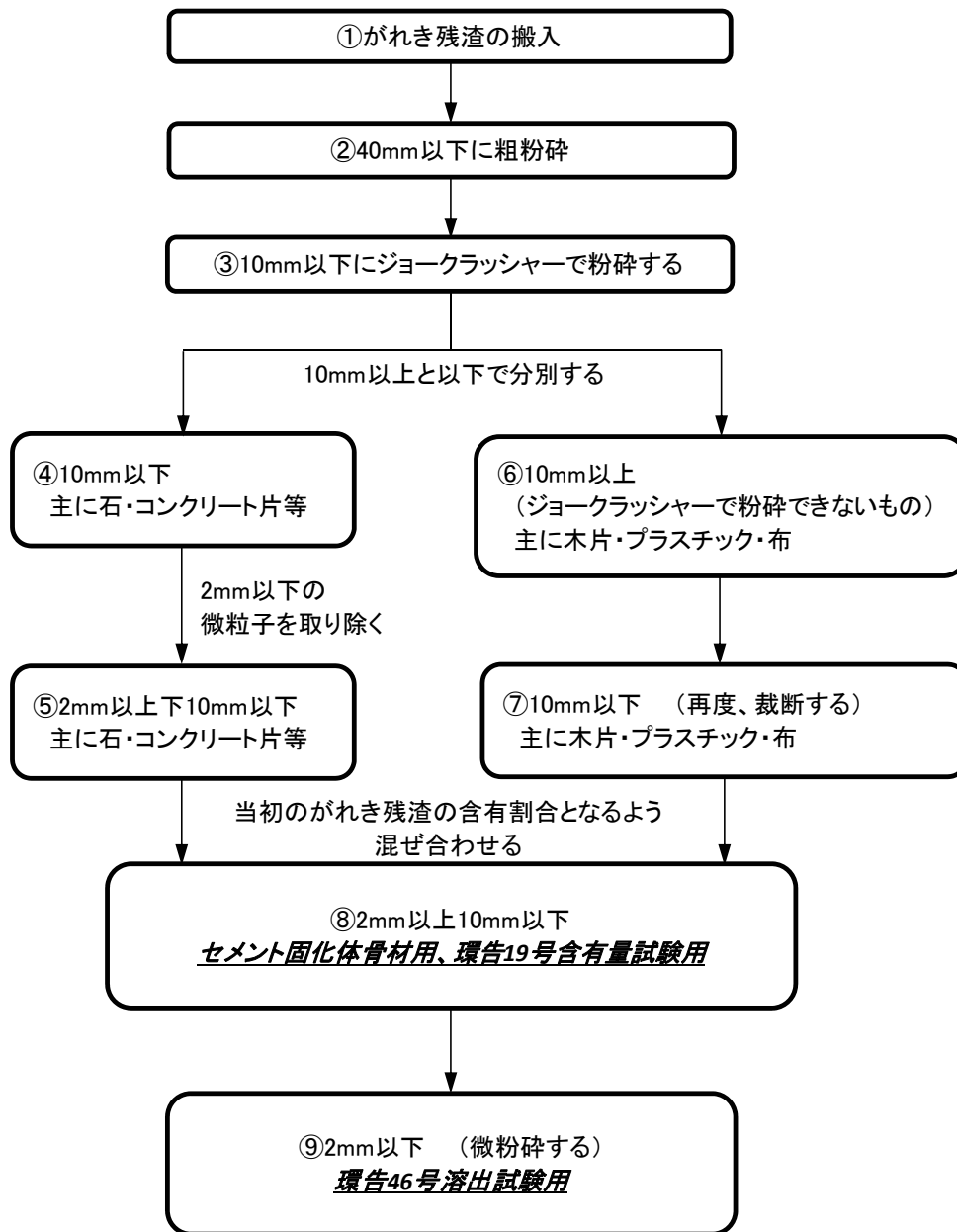


図 7.3.3.3-1 がれき残渣の調整フロー













調整段階	がれき①	がれき②	がれき③
②40mm 以下 がれき残渣			
⑤2mm 以上 10mm 以下 石・コンクリート片 等			
⑥10mm 以上 木・プラスチック等			
⑦10mm 以下 木・プラスチック等			

図 7. 3. 3. 3-2 がれき残渣の調整段階の状況

(2) がれき残渣の含有量・溶出量試験

1) 実験概要

① 溶出試験

2mm 以下に調整した試料を用いて環告 46 号溶出試験を実施した。



(a) 6 時間の振とう状況



(b) 振とう後の様子

写真 7. 3. 3. 3-1 環告 46 号の溶出試験状況

② 含有量試験

含有量試験は 2mm 以上 10mm 以下に調整したがり残渣を用いて実施した。対象物質は溶出量試験と同じ 9 項目とした。

主な含有量試験とその試験項目について表 7.3.3.3-1 に示す。今回は土壤汚染対策法で規定されている環告 19 号含有量試験を実施した。

表-7.3.3.3-1 土壤・岩石・土砂中の含有量試験法

試験方法	【日本土壤肥料学会による方法】	【底質調査方法】	【底質調査法】	【底質の調査・試験マニュアル】	【含有量試験(環告19号)】
出典	「土壤標準分析・測定法」 (日本土壤肥料学会監修、 土壤標準分析・測定法委員会編)	平成13年3月 環境省 環境管理局 水環境部	底質調査方法の改定について (昭和63年、環水管第127号)	(社)底質浄化協会 (1987.3)	土壤汚染対策法
発行時期	1986年	2001年	1985年	1987年	2003年
カドミウム	○	○	○	○	○ (150mg/kg)
全シアン	記載なし	シアン化合物	シアン化合物	シアン	○ (遊離シアンとして 50mg/kg)
鉛	○	○	○	○	○ (150mg/kg)
六価クロム	クロム	○ (総クロムも記載あり)	○ (総クロムも記載あり)	○ (総クロムも記載あり)	○ (250mg/kg)
ひ素	○	○	○	○	○ (150mg/kg)
総水銀	水銀	○	○	○	○ (15mg/kg)
セレン	○	○	記載なし	記載なし	○ (150mg/kg)
ふっ素	記載なし	記載なし	記載なし	記載なし	○ (4000mg/kg)
ほう素	記載なし	○	記載なし	記載なし	○ (4000mg/kg)
備考	学会で認められた方法	非公式 入手先: 国立環境研究所 HP 「EnvMethod環境測定 法データベース」	全含有量ではないことに注意		※カッコ内は含有量基準値を 示す。 【検液作成方法】 ① Cd, Pb, Hg, As, F, B 1M HClによる抽出 (重量体積比3%) ② Cr(VI) Na ₂ CO ₃ , NaHCO ₃ 水溶液 による抽出 (重量体積比3%) ③ CN 水に酢酸亜鉛溶液を加えて 蒸留する

2) 環告 46 号溶出量試験の結果

がれき残渣 3 種類（がれき①、がれき②、がれき③）の溶出量試験の結果を表 7.3.3.3-2 に示す。

9 項目全てが溶出量基準未満であった。

- カドミウム・シアン・水銀・セレンの 4 項目は定量下限値未満となりほぼ検出されなかった。
- 鉛は、がれき②でわずかに検出されたものの、ほぼ定量下限値未満であった。
- 六価クロム・砒素・ふっ素・ほう素は、がれきによってばらつきがあるものの溶出量基準未満の溶出が認められた。六価クロム・砒素に関しては環境基準値未満ではあるが、溶出量が比較的多いがれきもあった。

表 7.3.3.3-2 がれき残渣の溶出量試験結果

項目	溶出量基準 (mg/L)	がれき残渣			
		がれき①	がれき②	がれき③	
pH	-	9.7	11.9	10.8	
電気伝導度 EC(mS/m)	-	64.8	143	56.7	
溶出量 (mg/L)	カドミウム	0.01	<0.001	<0.001	<0.001
	シアン	不検出	<0.1	<0.1	<0.1
	鉛	0.01	<0.001	0.001	<0.001
	六価クロム	0.050	0.010	0.019	0.014
	砒素	0.010	<0.005	0.002	0.006
	総水銀	0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005
	セレン	0.01	<0.001	<0.001	<0.001
	ふっ素	0.8	0.15	0.23	0.31
	ほう素	1	0.10	<0.1	<0.1

< : 定量下限値未満

3) 環告 19 号含有量試験の結果

がれき残渣 3 種類（がれき①、がれき②、がれき③）の含有量試験の結果を表

7.3.3.3-3 に示す。

9 項目全てが含有量基準未満であった。

- カドミウム・シアン・六価クロム・セレンの 4 項目は定量下限値未満となり、ほとんど含有していない。
- 鉛はがれきに含有されている（基準値未満）ものの、溶出しにくい形態にあると考えられる。
- 六価クロムはほとんど含有されていないが、溶出しやすい形態にあると考えられる。

表 7.3.3.3-3 がれき残渣の含有量試験結果

項目	含有量基準 (mg/kg)	がれき残渣			
		がれき①	がれき②	がれき③	
含有量 (mg/kg)	カドミウム	150	<1	<1	<1
	シアン	50	<2	<2	<2
	鉛	150	24	29	75
	六価クロム	250	<2	<2	<2
	砒素	150	2.5	4.1	4.0
	総水銀	15	0.011	<0.01	<0.01
	セレン	150	<1	<1	<1
	ふっ素	4000	87	92	71
	ほう素	4000	16	8.8	5.0

< : 定量下限値未満

7.3.3.4 模擬汚染がれきを用いた溶出実験

3種類のがれき残渣の溶出量試験および含有量試験を行い、全て環境基準値未満であることが明らかとなった。

アップサイクルブロックの溶出に対する安全性を確認するため、“模擬汚染がれき”を作製し、これを用いたセメント固化体の溶出試験を実施した。“模擬汚染がれき”とは、がれき残渣を土壤汚染対策法の環境基準以上の溶出量となるように人為的に汚染したものである。

模擬汚染がれきを用いたセメント固化体の溶出試験のフローを図 7.3.3.4-1 に示す。実験は以下の手順で実施した。

- ①がれき残渣に重金属等 9 項目を添加してその溶出量と添加量の相関を決定した。その相関から、目標溶出量の 3 濃度を決定して模擬汚染がれきを作製した。
- ②二次製品ブロックおよび盛土用ブロックのセメント固化体を作製し、環告 46 号溶出試験を行った。

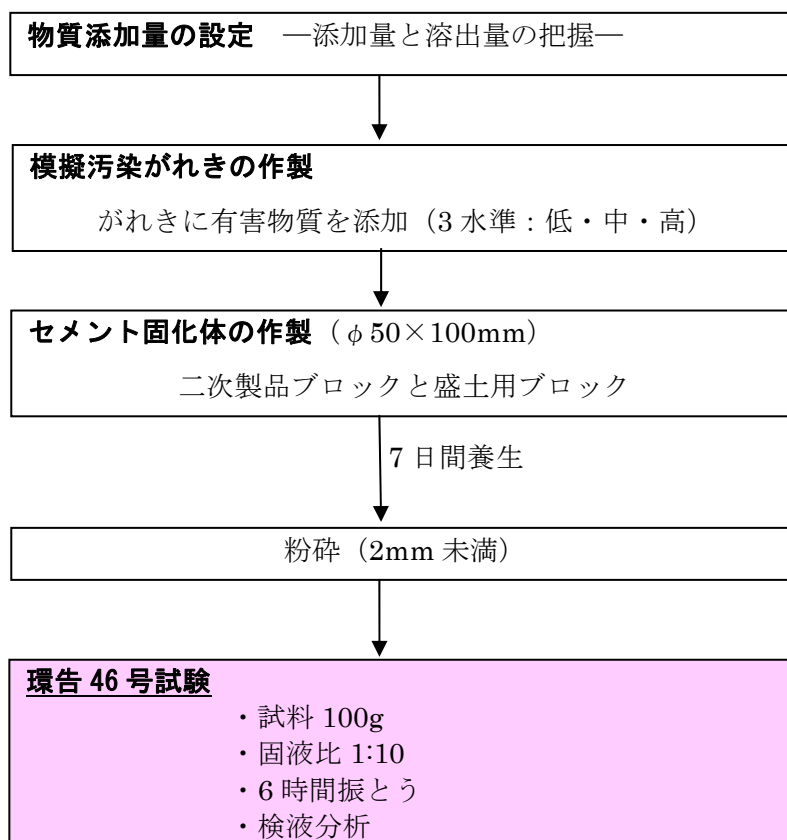


図 7.3.3.4-1 模擬汚染がれきを用いたセメント固化体の溶出試験フロー

(1) 模擬汚染がれき作製のための物質添加量の設定

まず、溶出量基準を超える模擬汚染がれきを作製するため、がれき残渣に添加する有害物質の添加量とその溶出量の相関を導いた。

次に、模擬汚染がれきの調整を行った。模擬汚染がれきからの溶出量は環告 46 号溶出量試験で確認した。

1) 実験概要

がれき残渣に添加する量と溶出量の相関を把握するために、各物質を 6 濃度で添加する。添加する物質は重金属 9 項目とする。各物質の添加に用いた試薬の仕様を表 7.3.3.4-1 に示す。9 項目全てを 1 つの試料に添加すると、互いに影響する（シアンが酸性状態であると揮散するなど）可能性がある。そこで、添加試薬の溶媒の属性によって、酸性グループ、アルカリ・中性グループに分けて添加した。

表 7.3.3.4-1 各物質の使用試薬の仕様

項目	物質名	溶媒	試薬の溶媒の属性 (酸性/アルカリ性)	グループ
カドミウム	硝酸カドミウム $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$	HNO_3	酸性	酸性グループ
鉛	硝酸鉛 $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$	HNO_3	酸性	
砒素	三酸化二砒素 As_2O_3	HCL	酸性	
水銀	塩化水銀 HgCl_2	HNO_3	酸性	
セレン	アセレン酸 H_2SeO_3	HNO_3	酸性	
シアン	フェロシアン化カリウム三水和物 $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6] \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	NaOH	アルカリ性	アルカリ性・ 中性グループ
六価クロム	二クロム酸カリウム $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	H_2O	中性	
ふっ素	フッ化ナトリウム NaF	H_2O	中性	
ほう素	ほう酸 H_3BO_3	H_2O	中性	

6濃度の添加量を表 7.3.3.4-2 に示す。

表 7.3.3.4-2 がれきへの添加量

物質		単位 (mg/kg)					
		CASE1	CASE2	CASE3	CASE4	CASE5	CASE6
酸性グループ	カドミウム	0.0	7.5	15.0	75.0	150.0	300.0
	鉛	0.0	7.5	15.0	75.0	150.0	300.0
	砒素	0.00	0.25	0.5	2.5	5.0	10.0
	水銀	0.00	0.75	1.5	7.5	15.0	30.0
	セレン	0.00	1.0	2.0	10.0	20.0	40.0
中性グループ アルカリ性・	シアン	0.0	2.0	4.0	20.0	40.0	80.0
	六価クロム	0.0	1.0	2.0	10.0	20.0	40.0
	ふっ素	0.0	10.0	20.0	100.0	200.0	400.0
	ほう素	0.0	10.0	20.0	100.0	200.0	400.0

実験手順を以下に示す。

- ① 10mm 以下に調整したがれき残渣を使用し、これを 6 濃度、2 グループ分(1 つ 50g)に取り分けた。
- ② 取り分けたがれき残渣に対して、使用試薬によって分類した酸性グループ、アルカリ・中性グループ毎に表 7.3.3.4-2 に示す量を添加し、均一に混ぜ合わせた。
- ③ 各物質を添加したがれきをドラフト内で十分に乾燥させた。
- ④ 乾燥させた模擬汚染がれきを 2mm 以下に粉砕した。
- ⑤ 環告 46 号溶出試験を行った。
- ⑥ 試験結果から添加量と溶出量の相関を求めた。

2) 溶出試験結果と物質添加量の設定

模擬汚染がれき 3 種類の溶出試験結果を図 7.3.3.4-2 に示す。また、溶出試験結果の一覧を表 7.3.3.4-3 に示す。3 種類の模擬汚染がれきによって溶出量に若干違いがあるものの、溶出傾向については大きな違いはなかった。

①カドミウム

3 種類全ての模擬汚染がれきについて、含有量基準値 (150[mg/kg]) 以上を添加しても、ほとんど溶出が認められなかった。試験で得られた検液は pH11 前後であり、カドミウムが難溶性の水酸化物を生成し、溶出しにくい環境であったと考えられる。

②鉛

カドミウムと同様に全ての模擬汚染がれきについて、含有量基準値 (150[mg/kg]) 以上を添加しても、ほとんど溶出が認められなかった。カドミウムと同様にアルカリ環境下で難溶性の水酸化物を生成し、溶出しにくい環境であったと考えられる。

③砒素

添加量と溶出量に 1 次の相関が認められた。模擬汚染がれきの種類によってばらつきが認められた。

④水銀

カドミウム・鉛と同様に、含有量基準値 (15[mg/kg]) 以上を添加しても、ほとんど溶出が認められなかった。ただし、がれき①の“高濃度” (添加量 30[mg/kg]) で溶出量基準の 18 倍近くの溶出量が認められた。

⑤セレン

模擬汚染がれき 3 種類とも概ね同じ溶出量を示し、添加量と溶出量に 1 次の相関が認められた。

⑥シアン

模擬汚染がれきの種類によって溶出にばらつきがあり、がれき②は多少溶出するものの、含有量基準 (50[mg/kg]) 以上加えても、ほとんど溶出が認められなかった。

⑦六価クロム

シアンと同様にがれきによって若干ばらつくものの、添加量と溶出量に 1 次の相関が認められた。

⑧ふっ素

模擬汚染がれきの種類によってばらつきがあるものの、添加量と溶出量に 1 次の相関が認められた。

⑨ほう素

模擬汚染がれき 3 種類ともほぼ同じ溶出量を示し、添加量と溶出量に 1 次の相関が認められた。

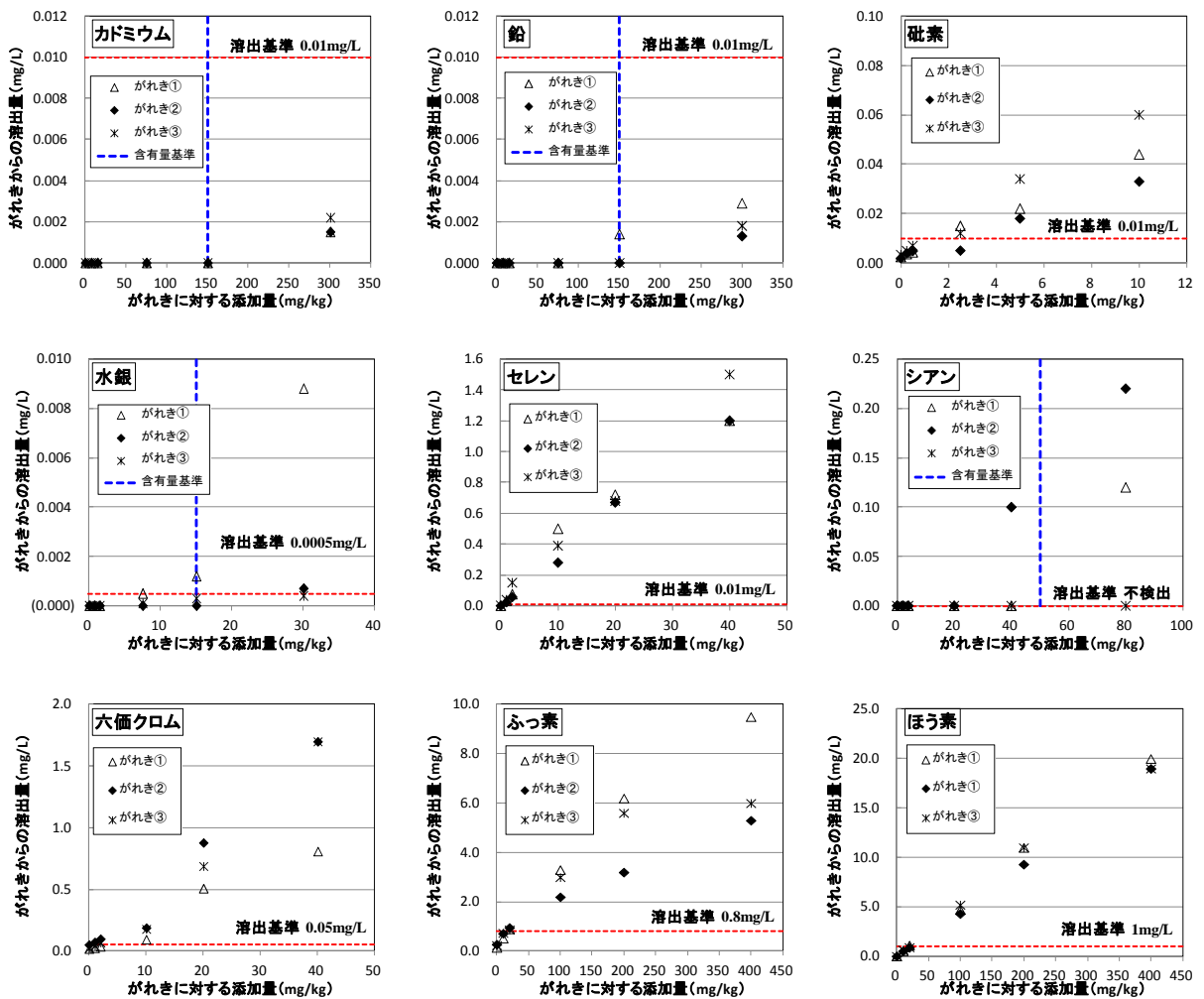


図 7.3.3.4-2 添加量と溶出量の相関把握のための溶出試験結果 (6 濃度で添加)

表 7.3.3.4-3 添加量と溶出量の相関把握のための溶出試験結果概要 一覧

物質		溶出試験結果
酸性グループ	カドミウム	ほぼ溶出せず
	鉛	ほぼ溶出しないものの、含有量基準(150[mg/kg])を超えると、若干溶出が認められた
	窒素	添加量と溶出量に一次の相関が認められた
	水銀	ほぼ溶出しないものの、含有量基準(15[mg/kg])から溶出が認められる種類がある。
	セレン	添加量と溶出量に一次の相関が認められた
中性グループ アルカリ性・	シアン	がれき種類によってばらつきはあるものの、ほぼ溶出せず
	六価クロム	添加量と溶出量に一次の相関が認められた
	ふっ素	添加量と溶出量に一次の相関が認められた
	ほう素	添加量と溶出量に一次の相関が認められた

次に、物質添加量の設定を行った。

セメント固化体に用いる模擬汚染がれきは、土壤環境基準の概ね 2 倍、5 倍、10 倍の溶出量となるような 3 濃度を設定しての模擬汚染がれきを作製する。各物質の溶出量基準と 2 倍・5 倍・10 倍値を表 7.3.3.4-4 に示す。ただし、シアンについては、溶出量基準が不検出であるので定量下限値である 0.1[mg/L]を基準とした。

表 7.3.3.4-4 各物質の溶出量基準値と 2 倍・5 倍・10 倍値

物質		低濃度[mg/L] 溶出基準の2倍	中濃度[mg/L] 溶出基準の5倍	高濃度[mg/L] 溶出基準の10倍	溶出基準 [mg/L]
酸性 グループ	カドミウム	0.02	0.05	0.10	0.01
	鉛	0.02	0.05	0.10	0.01
	砒素	0.02	0.05	0.10	0.01
	水銀	0.00	0.00	0.01	0.0005
	セレン	0.02	0.05	0.10	0.01
中 性 アル カリ 性 グループ	シアン	0.20	0.50	1.00	不検出
	六価クロム	0.10	0.25	0.50	0.05
	ふっ素	1.60	4.00	8.00	0.80
	ほう素	2.00	5.00	10.00	1.00

溶出試験の結果より、溶出傾向から2つのタイプに分けられる。

A：添加量に比例して溶出する物質
 砒素・セレン・六価クロム・ふっ素・ほう素

B：ほぼ溶出しない物質
 カドミウム・鉛・水銀・シアン

この2つのタイプについて、以下のように添加量を設定した。

A：添加量に比例して溶出する物質
 添加量・溶出量の関係式より、溶出量が土壤環境基準値の2倍、5倍、10倍となるよう3濃度の添加量を決定した。

B：ほぼ溶出しない物質
 溶出量が土壤環境基準の10倍となるような量を添加すると、含有量基準を大幅に超えることとなる。このようながれき残渣をアップサイクルブロックで用いることは現実的ではない。含有量基準を基に3濃度の添加量を決定した。
 カドミウム・鉛・水銀については、含有量基準の0.5倍、1倍、1.33倍濃度を添加量と決定した。
 シアンについては、含有量基準の0.5倍、1倍、2倍濃度を添加量と決定した。

がれき①、がれき②、がれき③への各物質の添加量を表7.3.3.4-5に示す。

表 7.3.3.4-5 がれきへの各物質の添加量（決定値）

物質	タイプ	がれきへの添加濃度[mg/kg]									含有量基準値 [mg/kg]	
		がれき①			がれき②			がれき③				
		低濃度	中濃度	高濃度	低濃度	中濃度	高濃度	低濃度	中濃度	高濃度		
酸性グループ	カドミウム	B	75	150	200	75	150	200	75	150	200	150
	鉛	B	75.0	150.0	200.0	75.0	150.0	200.0	75.0	150.0	200.0	150
	砒素	A	4.2	11.5	24.0	6.0	16.0	32.0	3.0	8.5	17.0	150
	水銀	B	7.5	15.0	20.0	7.5	15.0	20.0	7.5	15.0	20.0	15
	セレン	A	0.7	1.7	3.5	0.7	1.7	3.5	0.5	1.0	2.3	150
中性グループ	シアン	B	25.0	50.0	100.0	25.0	50.0	100.0	25.0	50.0	100.0	50
	六価クロム	A	5.0	12.5	25.0	3.0	7.0	15.0	4.0	7.5	15.0	250
	ふっ素	A	45	150	320	80	280	610	50	140	300	4000
	ほう素	A	40	100	200	45	110	220	40	100	200	4000

(2) 二次製品ブロックの溶出実験

模擬汚染がれきを用いて二次製品ブロックを作製し、溶出試験を実施した。

1) 実験概要

①実験ケース

表 7.3.3.4-6 二次製品ブロックの溶出試験ケース

配合	試験方法	グループ	養生期間	濃度	ケース数
二次製品 ブロック	環告 46 号 試験	酸性	7 日	低・中・高	3 ケース
		アルカリ性・中性		低・中・高	3 ケース

②配合

表 7.3.3.4-7 二次製品ブロックの配合

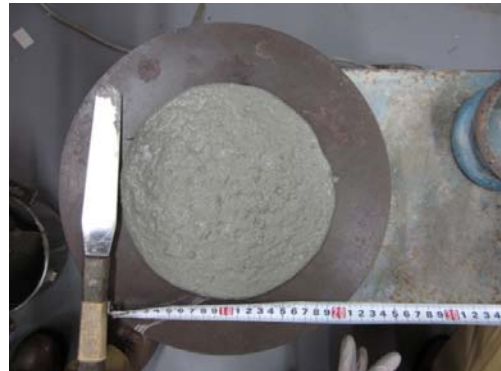
水セメント比 W/C (%)	単位量 (kg/m ³)				混和剤 SP (C×%)
	水 W	高炉セメント B 種 C	細骨材 S	がれき G	
30.0	115	383	957	840	0.80

③実験手順

- ① 10mm 以下に調整したがれき残渣を用いた。
- ② がれきをφ50×100mm のモールド缶 1 本分ずつに取り分けた。(写真 7.3.3.4-1 の(a))
- ③ 各物質を表 7.3.3.4-5 で設定した濃度をがれきに添加した後、十分に乾燥させて、模擬汚染がれきとした。
- ④ 水・セメント・細骨材・高性能減水剤を練り混ぜてモルタルを作製した。(写真 7.3.3.4-1 の(b))
- ⑤ モールド 1 本分ずつの模擬汚染がれきに相当量のモルタル分を投入し、十分に練混ぜて、モールドに充填し、突き棒を用いて締固めた。(写真 7.3.3.4-1 の(c)、(d))
- ⑥ モールドを密封してコンテナに入れ、気中養生を行った(7 日間、28 日間)。
- ⑦ 環告 46 号溶出試験を行った。



(a) 10mm 以下の模擬汚染がれき



(b) モルタル分



(c) 練り混ぜ後



(d) 締め固め状況



(e) モールド供試体



(f) モールド供試体の脱型後

写真 7.3.3. 4-1 溶出試験用二次製品ブロックの作製状況

2) 溶出試験結果

模擬汚染がれき自体の溶出試験結果を以下に示す。

表 7.3.3.4-8 模擬汚染がれきの溶出試験結果

		溶出量 基準 [mg/kg]	模擬汚染がれき 環告46号 溶出試験									
			がれき①			がれき②			がれき③			
			低濃度	中濃度	高濃度	低濃度	中濃度	高濃度	低濃度	中濃度	高濃度	
酸性 グループ	pH	-	9.8	10.5	10.7	11.7	11.3	11.2	10.4	11.0	10.7	
	EC [mS/m]	-	69.4	94.6	107	147	118	128	66.7	101	94.1	
	溶出量 [mg/kg]	カドミウム	0.01	<0.001	<0.001	0.001	<0.001	0.001	0.0012	<0.001	<0.001	<0.001
		鉛	0.01	<0.001	<0.001	0.001	<0.001	<0.001	0.002	<0.001	<0.001	0.001
		砒素	0.01	0.024	0.041	0.120	0.008	0.048	0.110	0.029	0.039	0.100
		水銀	0.0005	0.0008	0.0012	0.0015	<0.0005	<0.0005	0.0005	<0.0005	<0.0005	0.0006
	セレン	0.01	0.014	0.037	0.080	0.007	0.031	0.079	0.015	0.024	0.061	
中ア ル ガ リ 性 グ ル ー プ	pH	-	10.9	10.6	11.7	11.6	11.6	11.6	10.7	10.5	10.7	
	EC [mS/m]	-	87.6	71.5	119	107	105	110	60.3	56.1	60.6	
	溶出量 [mg/kg]	シアン	不検出	<0.1	<0.1	0.10	<0.1	0.10	0.13	<0.1	<0.1	<0.1
		六価クロム	0.05	0.20	0.40	0.61	0.16	0.36	0.57	0.22	0.35	0.62
		ふっ素	0.8	1.10	5.50	8.10	1.60	4.10	8.20	1.90	5.30	9.40
ほう素		1	1.90	5.10	9.10	2.10	5.20	9.80	2.20	5.80	9.90	

< : 定量下限値未満

- ・ 砒素、セレン、六価クロム、ふっ素、ほう素は、予測どおり添加量の増加とともに溶出量が増加する傾向を示した。目標とする溶出基準の10倍程度の溶出量を持つ模擬汚染がれきを作製できた。
- ・ カドミウム、鉛は含有量基準(150[mg/kg])以上を添加してもほとんど溶出しなかった。事前溶出試験と同様に、模擬汚染がれきにおいてもほぼ溶出が認められなかった。
- ・ 水銀はがれき②、がれき③はほとんど溶出が認められず、含有量基準(15[mg/kg])を超えるとわずかに溶出する程度であった。がれき①は低濃度(7.5[mg/kg])から溶出量基準を超えたが、高濃度(20[mg/kg])であっても溶出基準の3倍に留まった。
- ・ シアンも事前の溶出試験と同様に、ほぼ溶出が認められなかった。

二次製品ブロックの溶出試験の結果を以下に示す。

表 7.3.3.4-9 二次製品ブロックの溶出試験結果

		溶出量 基準 [mg/L]	二次製品ブロック セメント固化体 環告46号溶出試験									
			がれき①			がれき②			がれき③			
			低濃度	中濃度	高濃度	低濃度	中濃度	高濃度	低濃度	中濃度	高濃度	
酸性 グル ープ	pH	-	12.3	12.4	12.5	12.4	12.4	12.5	12.5	12.4	12.4	
	電気伝導度 EC[mS/m]	-	400	440	550	410	410	530	490	450	410	
	溶出量 [mg/L]	カドミウム	0.01	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
		鉛	0.01	0.003	0.048	0.011	0.005	0.006	0.019	0.011	0.013	0.006
		砒素	0.01	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
		水銀	0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005
セレン	0.01	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005		
中ア 性ル グカ リ性 ブ・	pH	-	12.4	12.5	12.5	12.4	12.4	12.5	12.5	12.5	12.5	
	電気伝導度 EC[mS/m]	-	390	450	530	410	410	420	430	440	400	
	溶出量 [mg/L]	シアン	不検出	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
		六価クロム	0.05	0.018	0.01	0.009	0.01	0.008	0.015	0.009	0.009	0.014
		ふっ素	0.8	0.31	0.26	0.28	0.26	0.3	0.51	0.23	0.21	0.35
ほう素		1	0.11	<0.1	0.22	0.16	0.17	0.18	0.16	0.22	0.20	

< : 定量下限値未満

- カドミウム、砒素、水銀、セレン、シアンについては、セメント固化体とすることで不溶化できた。砒素については、溶出基準の12倍、セレンについては8倍の溶出量を持つ模擬汚染がれきを定量下限値未満にまで不溶化できた。
- 六価クロム、ふっ素、ほう素についても不溶化できた。六価クロムについては、溶出量基準の12倍、ふっ素については12倍、ほう素については10倍の溶出量を持つ模擬汚染がれきを溶出量基準の約2割程度の溶出に抑制することができた。
- 鉛については、概ね不溶化できたと言えるが、一部の種類と濃度において溶出量基準を超える溶出量が認められた。模擬汚染がれきではほぼ溶出が認められなかったが、セメント固化体とすると溶出が認められた。要因としては、セメント固化体とすることでpH11前後からpH12.5付近にまで上昇し、存在形態として大部分を占めるであろうPb(OH)₂の溶解度が上昇したからであると考えられる。

各物質について、高濃度のケースの溶出量を環境基準値で除した値を図7.3.3.4-3、図7.3.3.4-4に示す。

また、全ての溶出試験結果をグラフにしたものを図7.3.3.4-5、図7.3.3.4-6に示す。

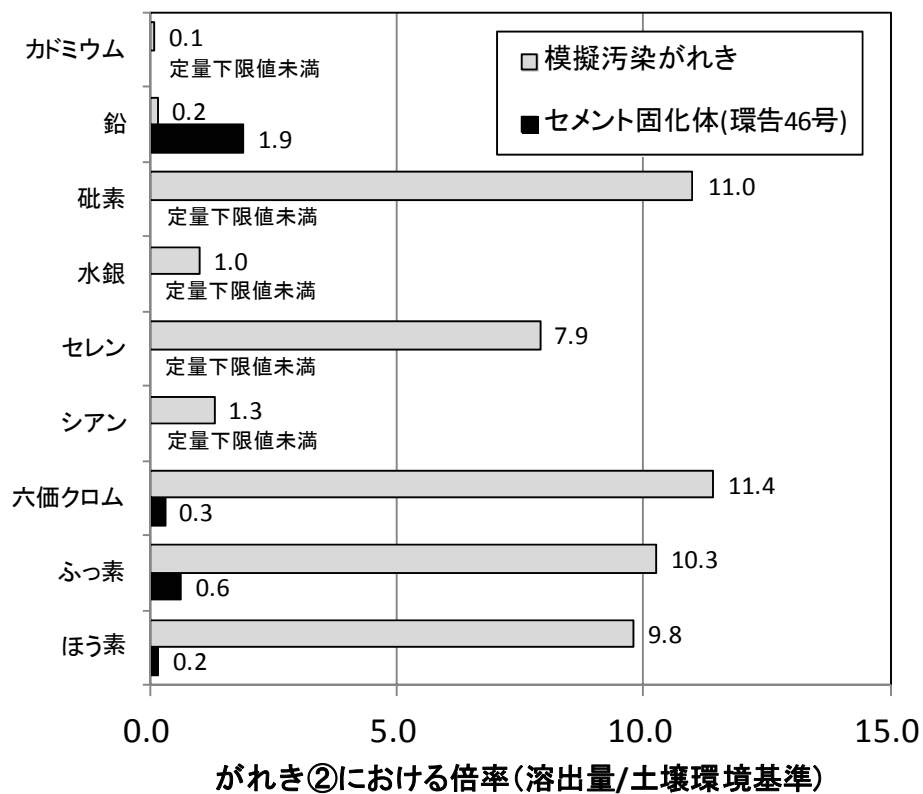
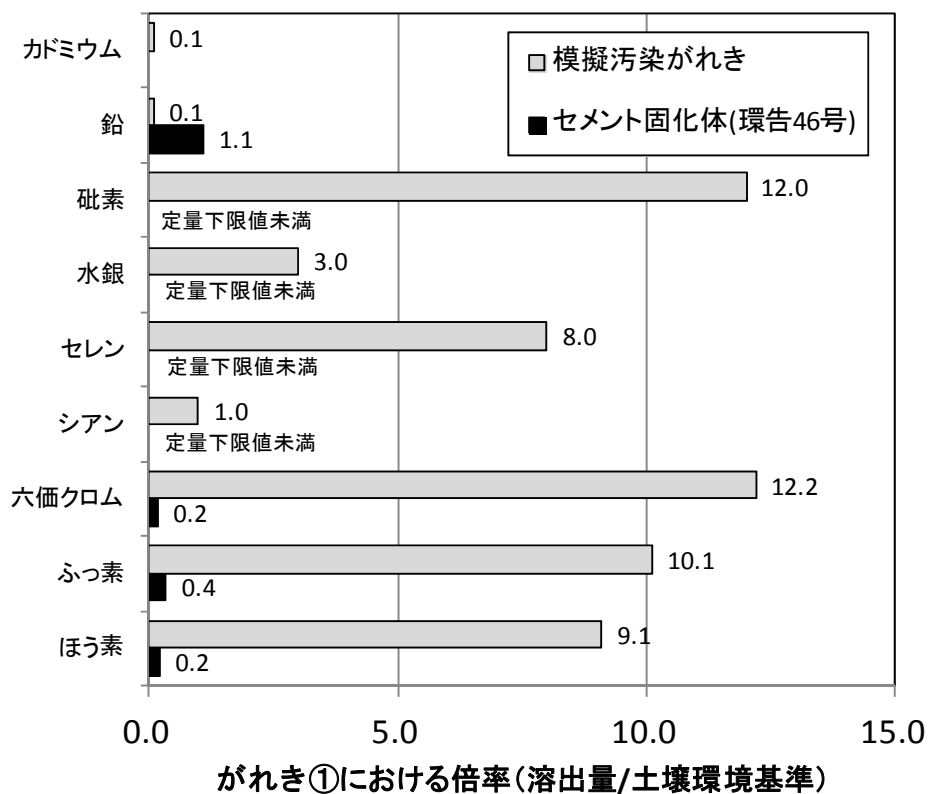


図 7.3.3.4-3 二次製品ブロックの溶出試験の結果 (“高濃度” ケース) (1)

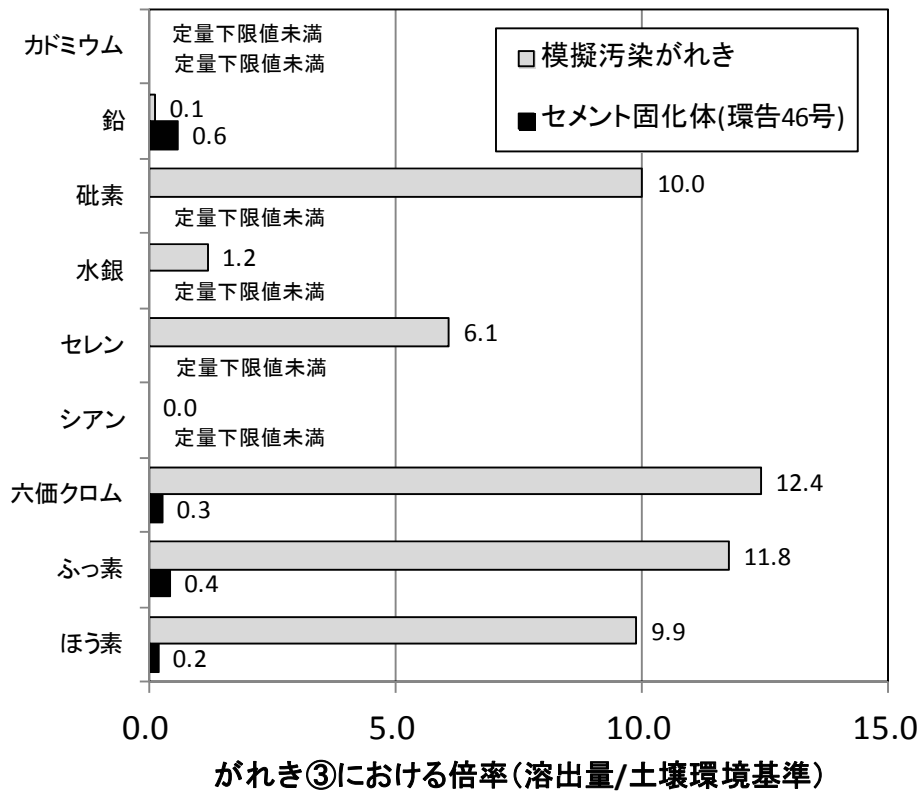


図 7. 3. 3. 4-4 二次製品ブロックの溶出試験の結果 (“高濃度” ケース) (2)

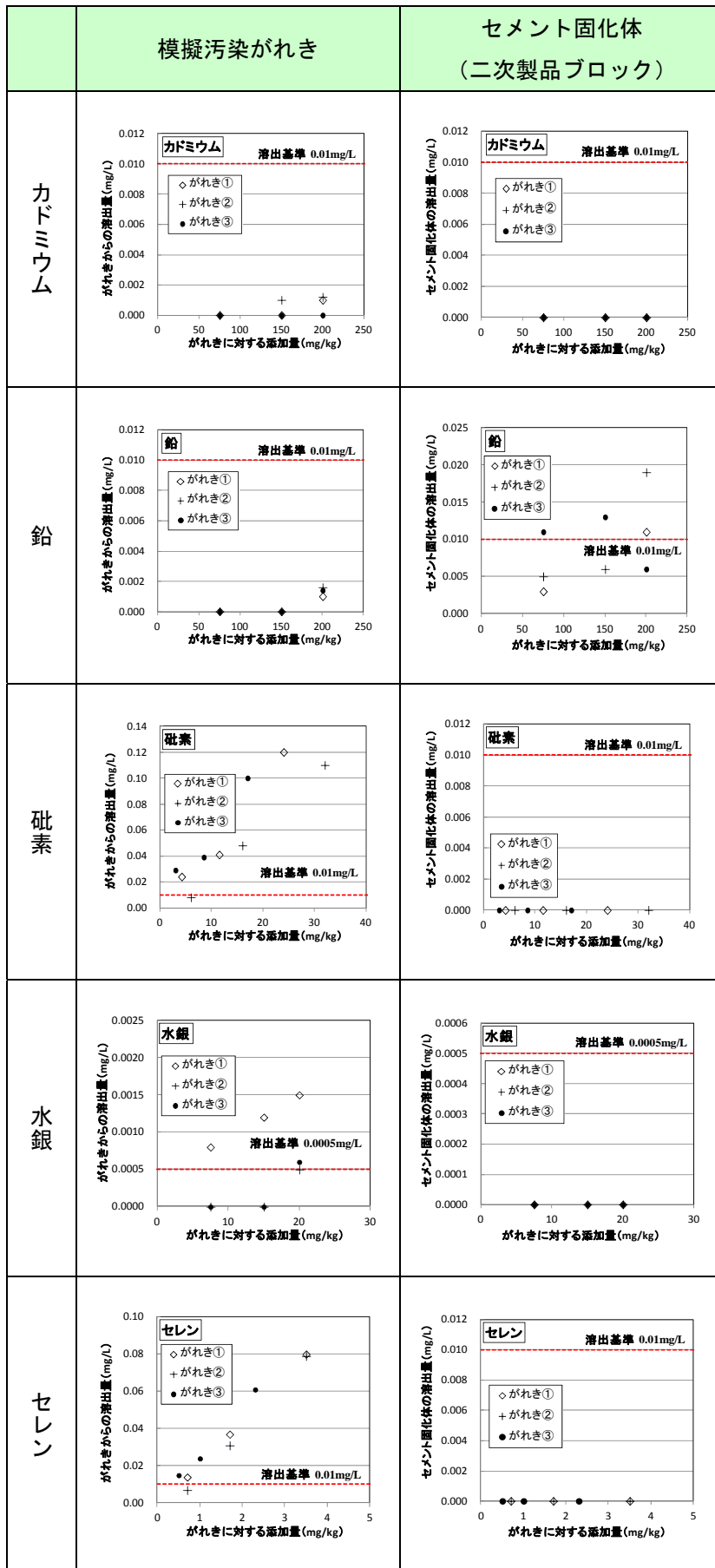


図 7.3.3.4-5 二次製品ブロックの溶出試験結果 (1)

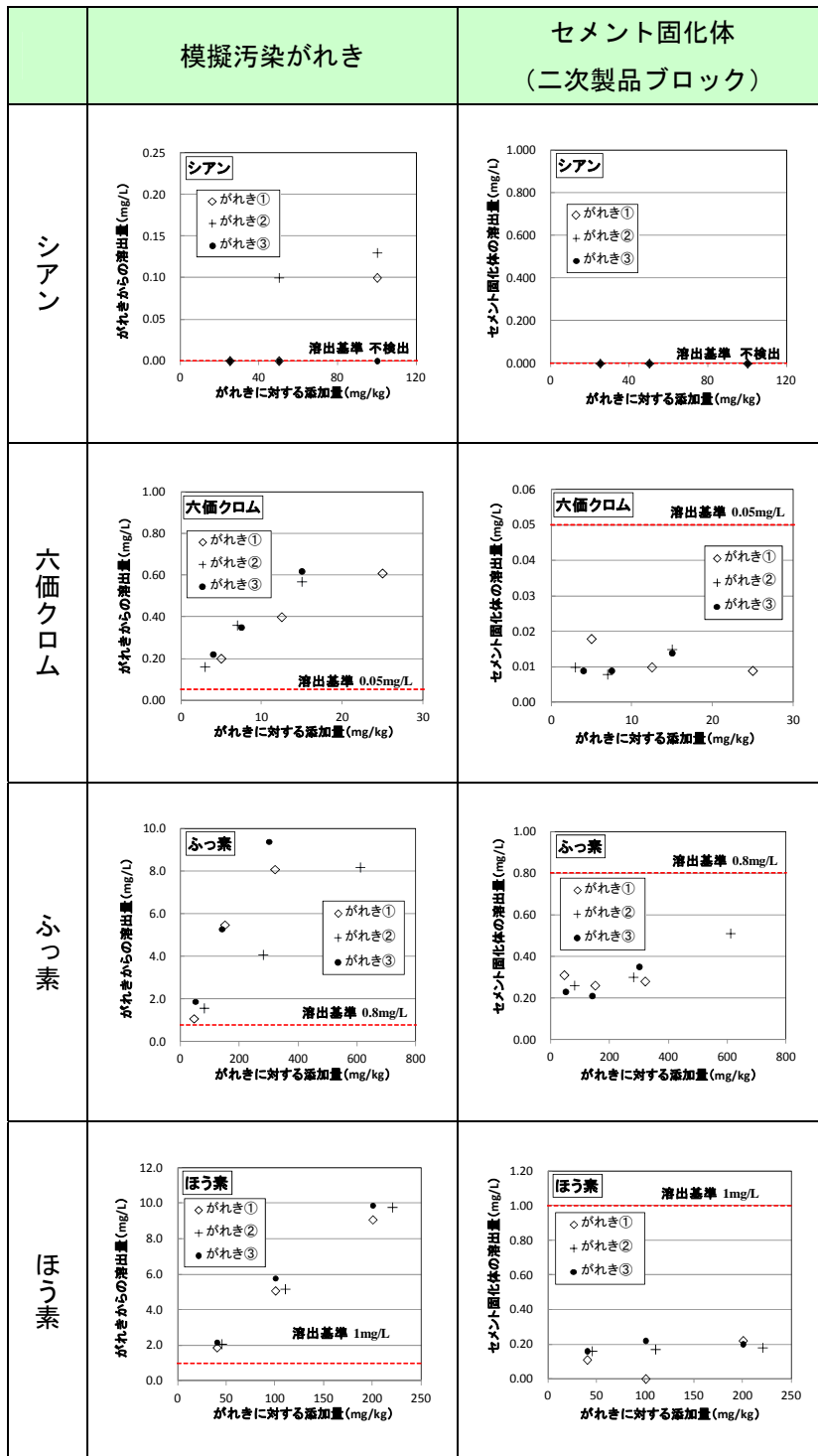


図 7.3.3.4-6 二次製品ブロックの溶出試験結果 (2)

(3) 盛土用ブロックの溶出実験

模擬汚染がれきを用いて盛土用ブロックを作製し、溶出試験を実施した。

1) 実験概要

①実験ケース

表 7.3.3.4-10 盛土用ブロックの溶出試験ケース

配合	試験方法	グループ	養生期間	濃度	ケース数
盛土用 ブロック	環告 46 号 試験	酸性	7 日	低・中・高	3 ケース
		アルカリ性・中性		低・中・高	3 ケース

②配合

表 7.3.3.4-11 盛土用ブロックの配合

水セメント比 W/C (%)	単位量 (kg/m ³)		
	水 W	高炉セメント B 種 C	がれき G
60.0	223	372	1381

③実験手順

- ① 10mm 以下に調整したがれき残渣を用いた。
- ② がれきを φ50×100mm のモールド缶 1 本分ずつに取り分けた。(写真 7.3.3.4-2 の(a))
- ③ 所定の濃度の重金属を添加した後、十分に乾燥させて、模擬汚染がれきとした。
- ④ 水・セメントを練り混ぜてセメントペーストを作製した。(写真 7.3.3.4-2 の(b))
- ⑤ モールド 1 本分の模擬汚染がれきにセメントペーストを投入し、十分に練混ぜて、モールドに詰込み、タッピングにより充填した。(写真 7.3.3.4-2 の(c)、(d)、(e))
- ⑥ モールドを密封してコンテナに入れ、7 日間気中養生を行った。
- ⑦ 環告 46 号溶出試験を行った。



(a) 10mm 以下の模擬汚染がれき



(b) セメントペースト



(c) 練混ぜ後



(d) 供試体作製状況



(e) 供試体作製完了後



(f) 供試体脱型後

写真 7.3.3.4-2 溶出試験用盛土用ブロックの作製状況

2) 溶出試験結果と溶出特性

模擬汚染がれき自体の溶出試験結果を以下に示す。

二次製品ブロックと同じ試料を使用しており、結果は同一である。

表 7.3.3.4-12 模擬汚染がれきの溶出試験結果(再掲)

		溶出量 基準 [mg/kg]	模擬汚染がれき 環告46号 溶出試験									
			がれき①			がれき②			がれき③			
			低濃度	中濃度	高濃度	低濃度	中濃度	高濃度	低濃度	中濃度	高濃度	
酸性 グル ープ	pH	-	9.8	10.5	10.7	11.7	11.3	11.2	10.4	11.0	10.7	
	EC [mS/m]	-	69.4	94.6	107	147	118	128	66.7	101	94.1	
	溶出量 [mg/kg]	カドミウム	0.01	<0.001	<0.001	0.001	<0.001	0.001	0.0012	<0.001	<0.001	<0.001
		鉛	0.01	<0.001	<0.001	0.001	<0.001	<0.001	0.002	<0.001	<0.001	0.001
		砒素	0.01	0.024	0.041	0.120	0.008	0.048	0.110	0.029	0.039	0.100
		水銀	0.0005	0.0008	0.0012	0.0015	<0.0005	<0.0005	0.0005	<0.0005	<0.0005	0.0006
	セレン	0.01	0.014	0.037	0.080	0.007	0.031	0.079	0.015	0.024	0.061	
中 ア 性 ル ガ ル リ 性 ブ ・	pH	-	10.9	10.6	11.7	11.6	11.6	11.6	10.7	10.5	10.7	
	EC [mS/m]	-	87.6	71.5	119	107	105	110	60.3	56.1	60.6	
	溶出量 [mg/kg]	シアン	不検出	<0.1	<0.1	0.10	<0.1	0.10	0.13	<0.1	<0.1	<0.1
		六価クロム	0.05	0.20	0.40	0.61	0.16	0.36	0.57	0.22	0.35	0.62
		ふっ素	0.8	1.10	5.50	8.10	1.60	4.10	8.20	1.90	5.30	9.40
ほう素		1	1.90	5.10	9.10	2.10	5.20	9.80	2.20	5.80	9.90	

< : 定量下限値未滿

盛土用ブロックの溶出試験の結果を以下に示す。

表 7.3.3.4-13 盛土用ブロックの溶出試験結果

		溶出量 基準 [mg/L]	盛土用ブロック セメント固化体 環告46溶出号試験									
			がれき①			がれき②			がれき③			
			低濃度	中濃度	高濃度	低濃度	中濃度	高濃度	低濃度	中濃度	高濃度	
酸性 グル ープ	pH	-	12.4	12.3	12.4	12.5	12.5	12.4	12.5	12.5	12.4	
	電気伝導度 EC[mS/m]	-	560	410	450	520	500	440	520	480	400	
	溶出量 [mg/L]	カドミウム	0.01	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
		鉛	0.01	0.011	0.007	0.011	0.012	0.016	0.014	0.010	0.018	0.010
		砒素	0.01	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
		水銀	0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005
セレン	0.01	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005		
中 ア ル カ リ 性 グ ル ー プ	pH	-	12.5	12.4	12.3	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	
	電気伝導度 EC[mS/m]	-	550	470	330	570	520	480	480	430	490	
	溶出量 [mg/L]	シアン	不検出	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
		六価クロム	0.05	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
		ふっ素	0.8	0.41	0.57	0.60	0.35	0.43	0.71	0.34	0.39	0.49
ほう素		1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.10	0.15	

< : 定量下限値未滿

- ・カドミウム、砒素、水銀、セレン、シアン、六価クロムについては、セメント固化体とすることで不溶化できた。砒素については、溶出量基準の12倍、セレンについては8倍、六価クロムについては12倍の溶出量を持つ模擬汚染がれきを定量下限値未滿にまで不溶化できた。
- ・六価クロムについては、不溶化でき、溶出が認められなかった。これは、セメント水和物のエトリンガイトに六価クロムが取り込まれることで不溶化されたと考えられる。二次製品の配合ではセメント固化体で溶出があったが、盛土用で認められなかった。
- ・ふっ素についても不溶化でき、溶出は認められたものの、溶出量基準内であった。添加量が増加すると溶出量が増加する傾向があり、“高濃度”で溶出量基準の8割程度の溶出量が認められた。
- ・ほう素については、盛土用ではほぼ溶出が認められず、不溶化できた。がれき③のみ高濃度で溶出量基準の2割程度の溶出が認められた。
- ・鉛については、概ね不溶化できたものの、土壌環境基準を超える溶出量が認められた。模擬汚染がれきから溶出が認められなかったにも関わらず、セメント固化体から認められた理由としては、二次製品と同様に、pHが上昇し、水酸化鉛の溶解度が上昇したためと考えられる。

各物質について、高濃度のケースの溶出量を環境基準で除した値を図7.3.3.4-7、図7.3.3.4-8に示す。

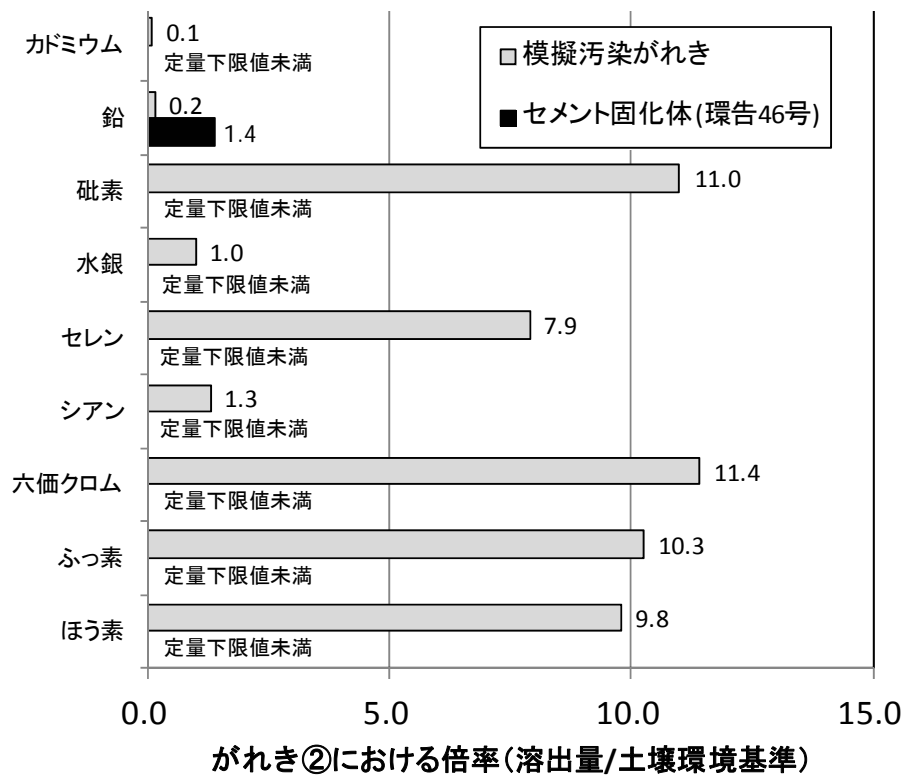
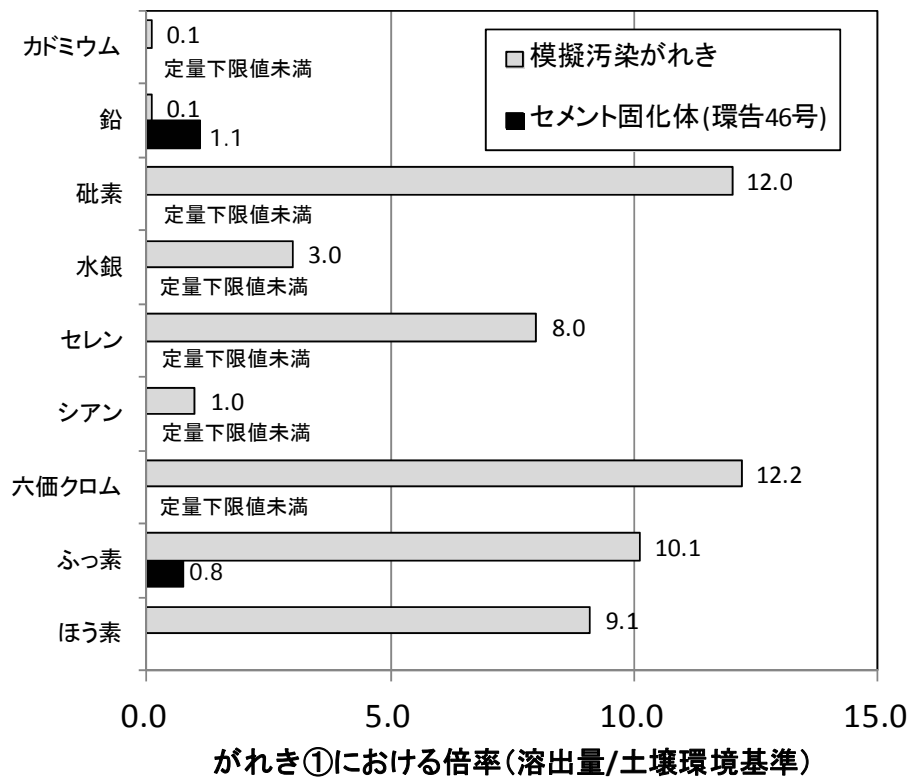


図 7.3.3.4-7 盛土用ブロックの溶出試験の結果(“高濃度”ケース)(1)

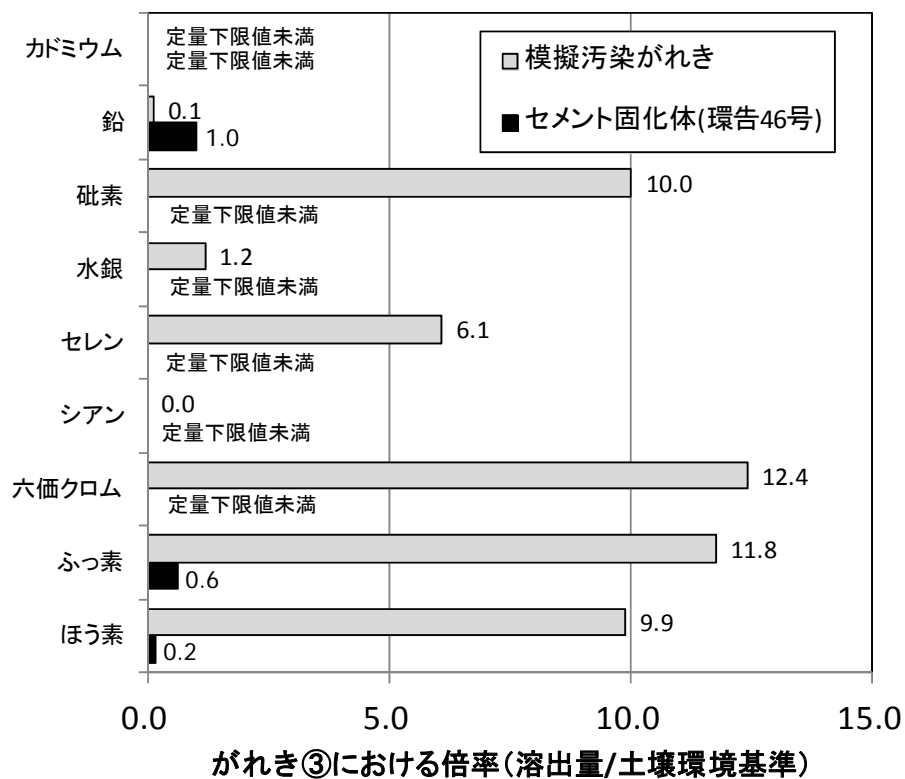


図 7.3.3.4-8 盛土用ブロックの溶出試験の結果 (“高濃度” ケース) (2)

全ての溶出試験結果をグラフにしたものを図 7.3.3.4-9、図 7.3.3.4-9-10 に示す。

	模擬汚染がれき	セメント固化体 (盛土用ブロック)
カドミウム		
鉛		
砒素		
水銀		
セレン		

図 7.3.3.4-9 盛土用ブロックの溶出試験結果 (1)

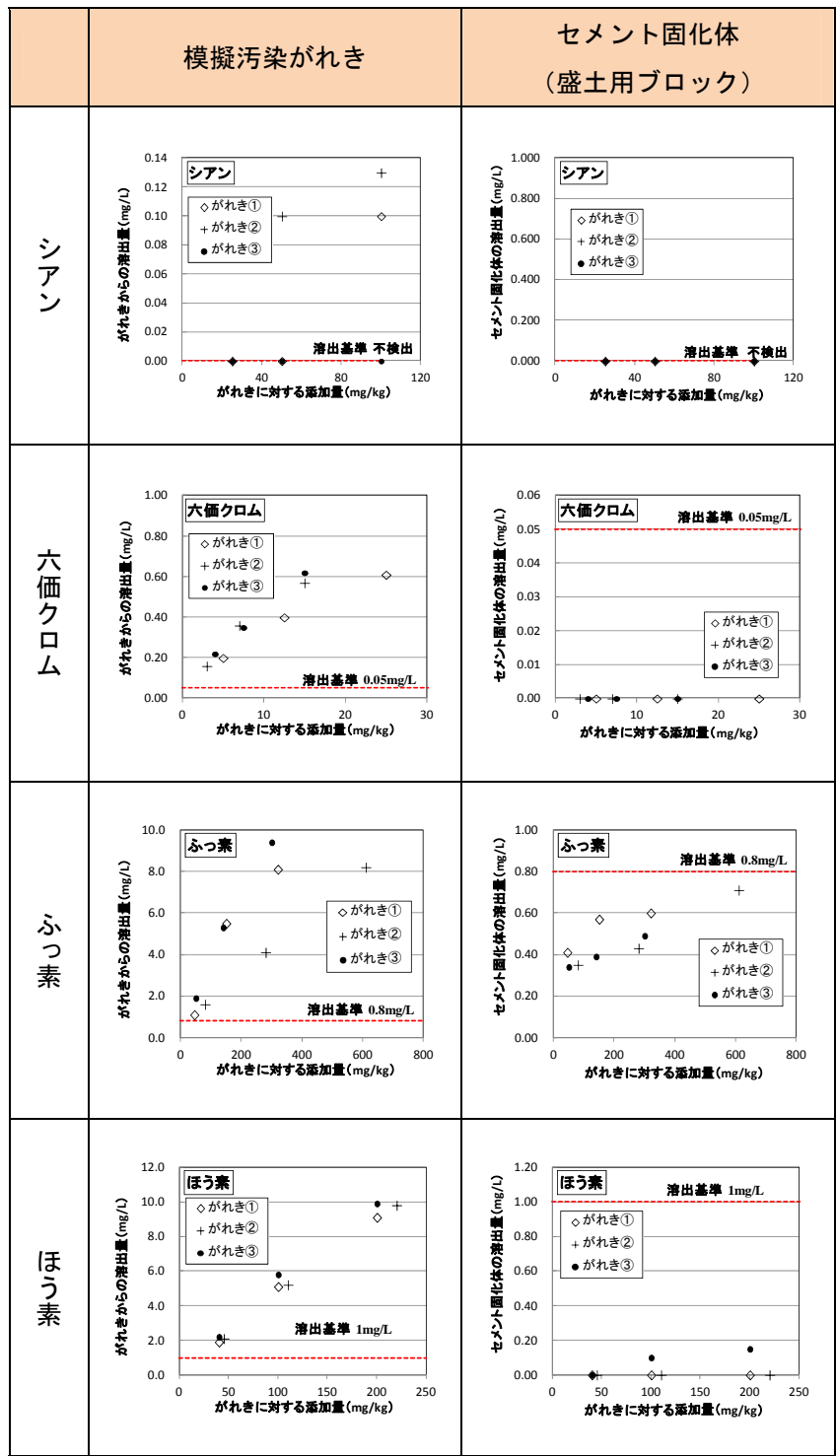


図 7.3.3.4-10 盛土用ブロックの溶出試験結果 (2)

7.3.3.5 高アルカリ雰囲気下による溶出試験（消石灰添加溶出試験Ⅱ）

人為的に重金属を添加した模擬汚染がれきをセメント固化体とすると、鉛のみ溶出量基準を超過するケースが認められた。その原因としては、セメント固化体とすることでpHが上昇し、不溶化した鉛化合物の溶解度が高くなったことが考えられる。

したがって、セメント固化体と同等の高アルカリ雰囲気(pH12.5程度)での溶出特性を把握しておく必要がある。そこで、消石灰添加溶出試験Ⅱを用いて高アルカリ雰囲気での溶出特性を把握することとした。

まず、がれき残渣について重金属全9項目の高アルカリ雰囲気での溶出試験（消石灰添加溶出試験Ⅱ）を実施して、各種重金属のpH依存の溶出特性を確認した。

次に、模擬汚染がれきを用いたセメント固化体について鉛の高アルカリ雰囲気での溶出特性を把握した。

(1) 消石灰添加溶出試験Ⅱとは

消石灰添加溶出試験Ⅱは、(財)土壤環境センターが提案した試験法で、土壤がコンクリート構造物に接触して高アルカリに曝された場合(図7.3.3.5-1)を想定した試験である。セメント固化体はpH12以上の強アルカリ性であるため、高pH雰囲気を再現するため、溶媒にアルカリ溶液を用いる。具体的には、溶媒として用いる水に消石灰を添加する(pH12.7)。試験方法は溶媒として水を用いる環告46号溶出試験とほぼ同じである。

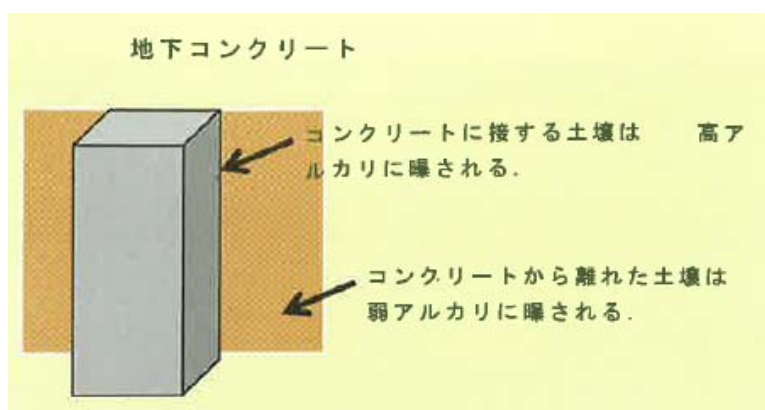


図7.3.3.5-1 コンクリート構造物により不溶化処理土壌がアルカリに曝される場合の想定

(2) がれき残渣の溶出試験

1) 目的

がれき残渣はコンクリート片などが多数含有しているため、アルカリ性を示すが、セメント固化体とした際と比べると pH は低い。そのため、セメント固化体状態を再現した高アルカリ雰囲気における溶出量を把握するために、消石灰添加溶出試験Ⅱを実施した。

2) 結果

消石灰添加溶出試験Ⅱの結果を、実施済みの環告 46 号溶出試験の結果を表 7.3.3.5-1 に併記する。

表 7.3.3.5-1 環告 46 号溶出試験と消石灰添加溶出試験Ⅱの結果の比較

項目	土壤環境基準 (mg/L)	がれき残渣						
		がれき①		がれき②		がれき③		
		環告46号 溶出試験	消石灰添加 溶出試験法Ⅱ	環告46号 溶出試験	消石灰添加 溶出試験法Ⅱ	環告46号 溶出試験	消石灰添加 溶出試験法Ⅱ	
pH	-	9.7	12.5	11.9	12.5	10.8	12.5	
電気伝導度 EC(mS/m)	-	64.8	600	143	600	56.7	600	
溶出量 (mg/L)	カドミウム	0.01	※	※	※	※	※	※
	シアン	不検出	※	※	※	※	※	※
	鉛	0.01	※	0.001	0.001	0.005	※	※
	六価クロム	0.050	0.010	0.012	0.019	0.027	0.014	0.010
	砒素	0.010	※	※	0.002	※	0.006	※
	総水銀	0.0005	※	※	※	※	※	※
	セレン	0.01	※	※	※	※	※	※
	ふっ素	0.8	0.15	0.35	0.23	0.43	0.31	0.51
ほう素	1	0.10	※	※	※	※	※	

※定量下限値未滿

- ・ 試験法の違い (pH の違い) よる大きな差はなかった。
- ・ がれき残渣自身の不均一さも影響していると考えられる。
- ・ ふっ素については、いずれのがれき残渣についても高アルカリ雰囲気では溶出量が若干大きかった。

(3) 鉛に着目した模擬汚染がれきの溶出試験

1) 目的

各物質の添加量と溶出量の関係は、既に環告 46 号溶出試験で把握した。しかし、がれき残渣の環告 46 号溶出試験とセメント固化体の環告 46 号溶出試験では pH が異なるため、溶出傾向に違いが生じると考えられる。

そこで、セメント固化体と同程度の高アルカリ雰囲気において、模擬汚染がれきの添加量と溶出量の関係を把握するため、消石灰添加溶出試験Ⅱを実施した。

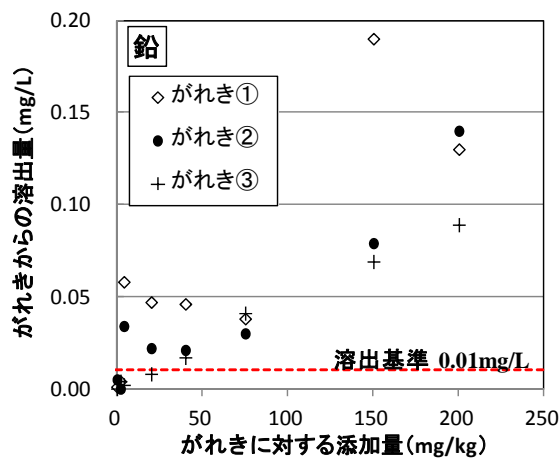
2) 結果

模擬汚染がれきの鉛添加量と消石灰添加溶出試験Ⅱの溶出量結果を以下に示す。また、模擬汚染がれきの鉛に着目した各種溶出試験の結果をグラフ化したものを図 7.3.3.5-2 に、セメント固化体での結果(再掲)をグラフ化したものを図 7.3.3.5-3 に示す。

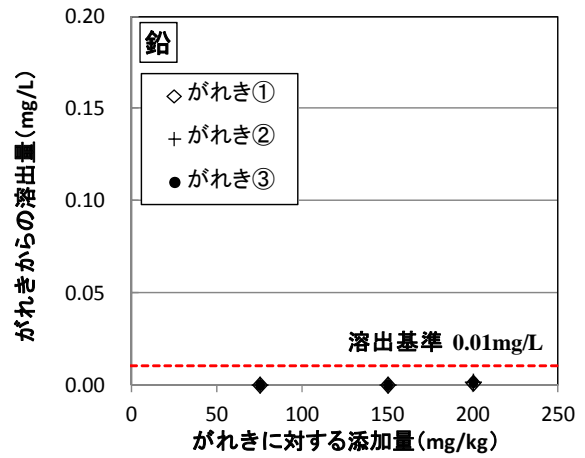
表 7.3.3.5-2 鉛に着目した溶出試験結果（消石灰添加溶出試験Ⅱの結果以外は再掲）

試料	試験方法	低濃度 [75mg/kg]				中濃度 [150mg/kg]				高濃度 [200mg/kg]			
		模擬汚染がれき		セメント固化体		模擬汚染がれき		セメント固化体		模擬汚染がれき		セメント固化体	
		環告46号 溶出試験	消石灰添加 溶出試験Ⅱ	環告46号溶出試験	環告46号溶出試験	環告46号溶出試験	消石灰添加 溶出試験Ⅱ	環告46号溶出試験	環告46号溶出試験	環告46号溶出試験	消石灰添加 溶出試験Ⅱ	環告46号溶出試験	環告46号溶出試験
がれき①	pH	9.8	12.6	12.3	12.4	10.5	12.6	12.4	12.3	10.7	12.6	12.5	12.4
	溶出量 [mg/L]	<0.001	0.038	0.003	0.011	<0.001	0.190	0.048	0.007	0.001	0.130	0.011	0.011
がれき②	pH	11.7	12.6	12.4	12.5	11.3	12.6	12.4	12.5	11.2	12.5	12.5	12.4
	溶出量 [mg/L]	<0.001	0.030	0.005	0.012	<0.001	0.079	0.006	0.016	0.002	0.140	0.019	0.014
がれき③	pH	10.4	12.6	12.5	12.5	11	12.6	12.4	12.5	10.7	12.6	12.4	12.4
	溶出量 [mg/L]	<0.001	0.041	0.011	0.010	<0.001	0.069	0.013	0.018	0.001	0.089	0.006	0.010

- ・ 模擬汚染がれきについて、鉛は環告 46 号溶出試験ではほぼ溶出しないが、消石灰添加溶出試験Ⅱでは環境基準値を超過した。
- ・ セメント固化体について、環境基準値を超えるケースはあるものの、模擬汚染がれきの消石灰添加溶出試験Ⅱの結果と比較すると、大幅に溶出量を抑制した。
- ・ 同じ pH 環境下で溶出試験をすることによって、セメントには鉛の不溶化能があることが分かった。

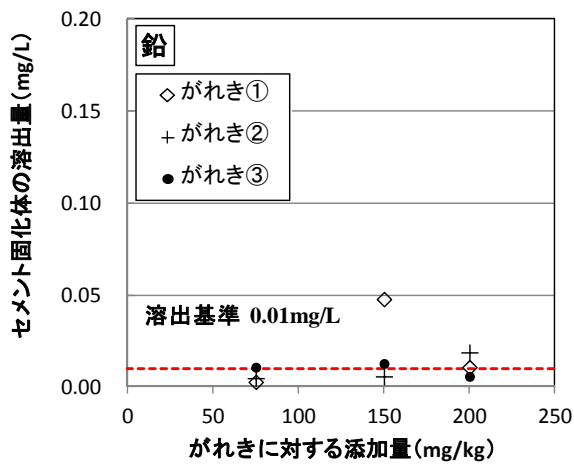


(a) 消石灰添加溶出試験Ⅱ

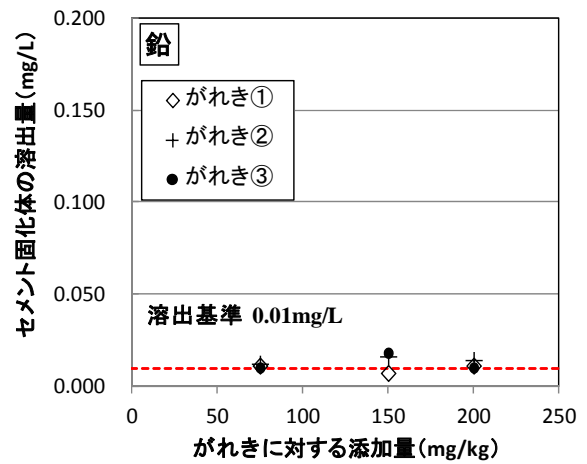


(b) 環告46号溶出試験（再掲）

図-7.3.3.5-2 模擬汚染がれきの溶出試験結果



(a) 二次製品



(b) 盛土用

図 7.3.3.5-3 セメント固化体の溶出試験結果（再掲）

7.3.3.6 鉛の溶出状況と存在形態について

鉛は pH8～11 で難溶性の水酸化物 ($\text{Pb}(\text{OH})_2$) を形成する。水酸化鉛の溶解度曲線を 図 7.3.3.6-1 に示す。

模擬汚染がれきの環告 46 号溶出試験時は pH10～11 程度であり、これは 図 7.3.3.6-1 に示すとおり、水酸化鉛を形成し溶出しにくい状態であった。

一方、セメント固化体の溶出試験時は pH12.3～12.5 であり、模擬汚染がれきの溶出試験時と比べ、溶解度が高くなり溶出しやすい状態であった。このため、模擬汚染がれきからは溶出が認められなかった鉛がセメント固化体からは認められたと考えられる。

がれき残渣の含有量試験結果では、鉛の含有量は 24～75[mg/kg] であり、今回作製した模擬汚染がれきへの添加量と比較しても少ない量とは言えない。しかし、がれき残渣の高アルカリ雰囲気 (pH12.7) での溶出試験結果 (参照：表 7.3.3.5-2) では定量下限値未満か溶出しても溶出量基準値未満であるにも関わらず、模擬汚染がれきの高アルカリ雰囲気での溶出試験結果 (参照：図-7.3.3.5-2) では溶出量基準を超える溶出量が認められた。

このことから、今回模擬汚染がれき作製のために添加した鉛の多くは水酸化鉛として存在し、高アルカリ雰囲気で溶出しやすい傾向があり、がれき残渣には、高アルカリ雰囲気でも溶出しにくい形態で存在していると推測される。

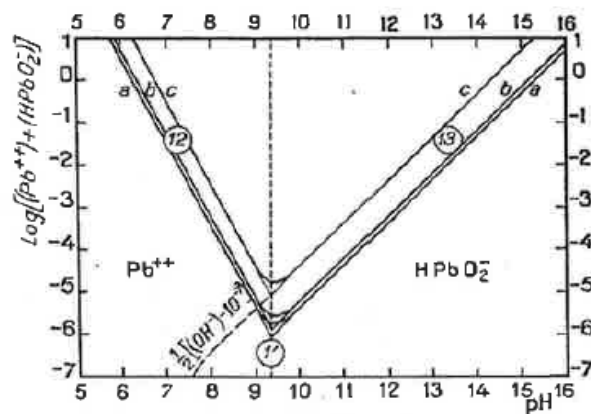


FIG. 3. Influence of pH on the solubility of red and yellow PbO and the hydroxide $\text{Pb}(\text{OH})_2$, at 25°C.
a. red PbO; b. yellow PbO; c. $\text{Pb}(\text{OH})_2$.

図 7.3.3.6-1 水酸化鉛の溶解度曲線³⁾

7.3.3.7 まとめ

一連の実験から得られた知見を以下に整理する。

- がれき残渣が溶出量基準を満たしていれば、それを骨材として用いたコンクリートブロックは溶出量基準を十分に満足する。
- 模擬汚染がれきを用いて溶出試験を行った結果、鉛以外の8項目の物質についてはセメント固化体とすることで不溶化でき、環境基準の10倍程度の溶出量もしくは含有量基準限界の含有量のがれき残渣を使用しても、環境基準を満足した。
- 鉛は、本試験で実施した物質添加方法では大部分は水酸化鉛として存在すると考えられ、高アルカリ環境下では溶出しやすい。pH9~10前後であれば溶解度が低く、含有量基準を超えていても溶出が認められない。しかし、セメント固化して概ね不溶化できるが、pH12を超えると溶出量基準を超えるケースがあった。

7.3.3.8 今後の課題と対応策

今回対象とした重金属等9項目についてセメント固化体とすることで溶出量基準を満足することができなかった物質は鉛のみであった。環境基準を超過するほど汚染されたがれき残渣は受入処理をしないというのが、がれき残渣有効利用の基本的方針であるが、万一、基準を超過したがれき残渣（溶出量基準の10倍程度の溶出量をもつがれき残渣）が混入していてもブロックからの溶出が基準を満足するようにすることが課題である。

その対応策として、ブロック作製時に鉛不溶化剤を添加することにより、溶出抑制するという予防措置が考えられる。具体的には、以下のものが候補として挙げられる。今後、その効果を確認してゆく。

- 酸化マグネシウム系の不溶化剤
- キレート剤

参考文献

- 1) 土壌中における重金属類の動態 和田信一郎 ,地球環境 Vol.15 No.1 pp.15-21(2010)
- 2) 環境庁告示46号 「土壌汚染に係る環境基準について」
<http://www.env.go.jp/ki jun/dojou.html>
- 3) 平成21年度 技術委員会 技術標準検討報告書 別冊 不溶化技術の基礎知識 , (社)土壌環境センター

7.3.4 実用化に向けた今後の課題

最後に、当技術の実用化に向けた今後の課題を整理する。

(1) 性能確保

- 二次製品ブロックの曲げ強度向上
- 長期耐久性（凍結融解、乾湿繰り返し）の検証
- 鉛不溶化能の向上

(2) 製造方法

- がれき残渣性状に応じた配合と製造方法の検証
- 大量生産設備の検討

(3) 品質・安全管理

- 自主基準値の設定
- 管理方法（試験方法、頻度）の設定

(4) トレーサビリティ確保

- システムの構築とその運用機関の特定

(5) 実用化推進

- 監督官庁、自治体への PR
- 建設技術審査証明の取得

8. 研究成果の刊行に関する一覧表

表-8.1 刊行に関する一覧

刊行書籍または雑誌名	刊行年月日	刊行書店名	執筆者氏名
土木施工 2012.3月号	2012年2月22日	(株)オフィススペース	加納敏行、森田晃司、 五十嵐寛昌、田辺敏、 坂本俊一、井尻裕二
NETIS プラス 第4号	2012年7月	(財)先端建設技術センター	がれき残渣の有効活用 によるアップサイクル ブロックの開発に関する 勉強会

9. 研究成果による知的財産権の出願・取得状況

表-9.1 知的財産権の出願・取得状況

知的財産権の内容	知的財産権の 種類、番号	出願年月日	取得年月日	権利者名
該当なし				

10. 成果の実用化の見通し

アップサイクルブロックの適用先を探索中

11. その他

なし