

(別紙 2)

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 10 号
2. 研究課題名 コンクリートがらを母材とした CSG の開発
3. 研究期間 平成 23 年度～平成 24 年度
4. 代表者及び研究代表者、共同研究者

代表者	(代表者氏名)	(所属機関・職名)
研究代表者	丸屋 剛	大成建設株式会社 技術センター 土木技術研究所 土木構工法研究室 室長
共同研究者	堀口 賢一	大成建設株式会社 技術センター 土木技術研究所 土木構工法研究室 課長
	小山 哲	大成建設株式会社 技術センター 土木技術研究所 土木構工法研究室 主事
	古田 敦史	大成建設株式会社 技術センター 土木技術研究所 土木構工法研究室 主任
	松元 淳一	大成建設株式会社 技術センター 土木技術研究所 土木構工法研究室 主任

5. 補助金交付総額 17,550 千円

6. 研究・技術開発の目的

室内試験や実施工実験により、コンクリートがれきを母材としたセメント硬化体が所定の品質を有することを確認し、実用化のための品質管理手法を確立する。また、コンクリートがれきの粒度を迅速に評価するために、画像解析処理を用いた粒度分布推定手法を確立する。

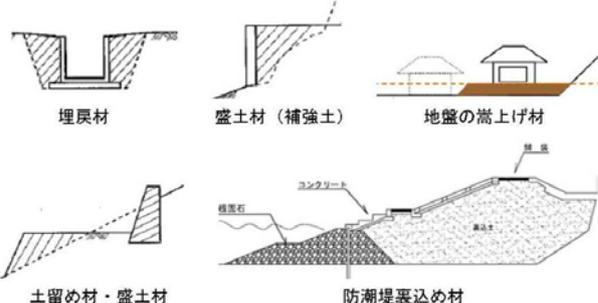
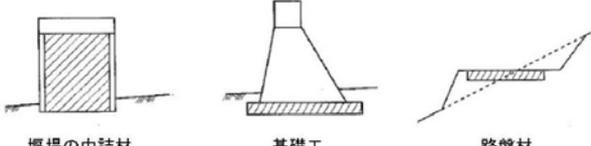
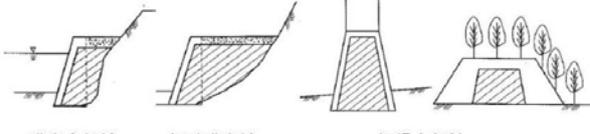
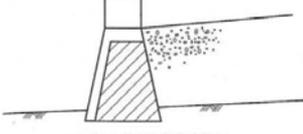
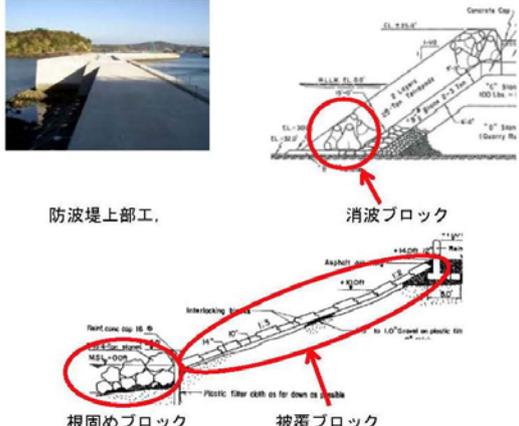
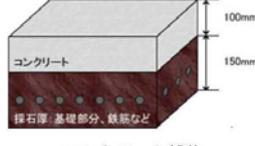
7. 研究・技術開発の内容と成果

7.1. 成果を適用する構造物と部位

表-1 に本技術開発の成果を適用する構造物と部位および要求性能を示す。

破碎したコンクリートがれきにセメントと水を混合して作られるセメント硬化体は、一般的なコンクリート構造物に使用するコンクリートほどの圧縮強度を有さなくてもよい用途の材料として、例えば盛土材や嵩上材、堰堤中詰材、ならびに護岸内部材のような圧縮強度で 1~6N/mm² 程度を有すればよい材料、もしくは堤体上流側の外部材のように圧縮強度で 6~18N/mm² 程度を有すればよい材料を目指した。また、防波堤上部工材のように圧縮強度で 18N/mm² 程度が要求される材料や、コンクリート舗装材として曲げ強度で 4.5N/mm² 程度が要求される、やや品質の高い材料としての適用も検討した。いずれの用途に対しても、施工には振動ローラーを用いて転圧締固めすることを想定し、目標スランプがゼロの超硬練りの仕様として検討したが、圧縮強度で 18N/mm² 程度が要求される消波ブロックや根固めブロック、被覆ブロックなどのような用途も考慮し、有スランプでの仕様も一部で検討した。また、要求性能は明確に定められていないが、製造時の自重程度に耐えられる圧縮強度があればよいものとして、漁礁も適用対象のひとつに挙げた。

表-1 本技術開発の成果を適用する構造物と部位および要求性能

適用を目指す構造物・部位	要求性能	要求される強度レベル (N/mm ²)	参考基準
 <p>漁礁</p>	<ul style="list-style-type: none"> 海中での長期耐久性 	製造時の自重に耐える圧縮強度	—
 <p>埋戻材 盛土材 (補強土) 地盤の嵩上げ材</p> <p>土留め材・盛土材 防潮堤裏込め材</p>	<ul style="list-style-type: none"> 内部応力に対する抵抗性と圧縮強度 (防潮堤は今後、求められる強度が高くなる可能性がある。また、法面角度によっては必要な強度は高くなる。) 	0.5~1.5	砂防ソイルセメント活用ガイドライン
 <p>堰堤の中詰材 基礎工 路盤材</p>	<ul style="list-style-type: none"> 内部応力に対する抵抗性と圧縮強度 	1.5~3.0	砂防ソイルセメント活用ガイドライン
 <p>護岸内部材 側壁護岸材 堰堤内部材</p>	<ul style="list-style-type: none"> 内部応力に対する抵抗性と圧縮強度 	3.0~6.0	砂防ソイルセメント活用ガイドライン
 <p>堤体上流側の外部材</p>	<ul style="list-style-type: none"> 内部応力に対する抵抗性と圧縮強度 	6.0~18.0	砂防ソイルセメント活用ガイドライン
 <p>防波堤上部工, 消波ブロック</p> <p>根固めブロック 被覆ブロック</p>	<ul style="list-style-type: none"> 安定な質量を確保すること 耐摩耗性 	18.0	港湾施設の技術上の基準・同解説
 <p>100mm 150mm</p> <p>コンクリート</p> <p>砕石層、基礎部分、鉄筋など</p> <p>コンクリート舗装</p>	<ul style="list-style-type: none"> すり減り抵抗性 曲げ強度 	曲げ強度 4.5	舗装標準示方書

7.2. 実験内容

7.2.1. 実験概要

図-1 に本技術開発の検討フローを示す。

本技術開発では、コンクリートがれきを母材として、セメントと水を混合してセメント硬化体を製造するために、まず、破碎したコンクリートがれきとその母材に成り得ることを粒度分布測定や吸水率測定などの材料試験により確認した。次に、セメントと水を混合したときの練混ぜ状態と加振締固め性を練混ぜ試験により確認した。練混ぜ試験では圧縮強度測定用の供試体も製作し、所定の材齢で圧縮強度と密度を測定した。これらの結果から、実際の施工を想定した方法による大型供試体の製作を実機実験として行った。最終的には、破碎したコンクリートがれきを母材として、セメントと水を混合したセメント硬化体の製造と施工方法を取りまとめ、構造物の要求性能に応じた材料が提供できる品質管理手法を提案する。

なお、本技術開発にかかわる実験は、岩手県釜石市の災害廃棄物処理ヤードと、横浜市戸塚区の大成建設技術センターにて実施した。

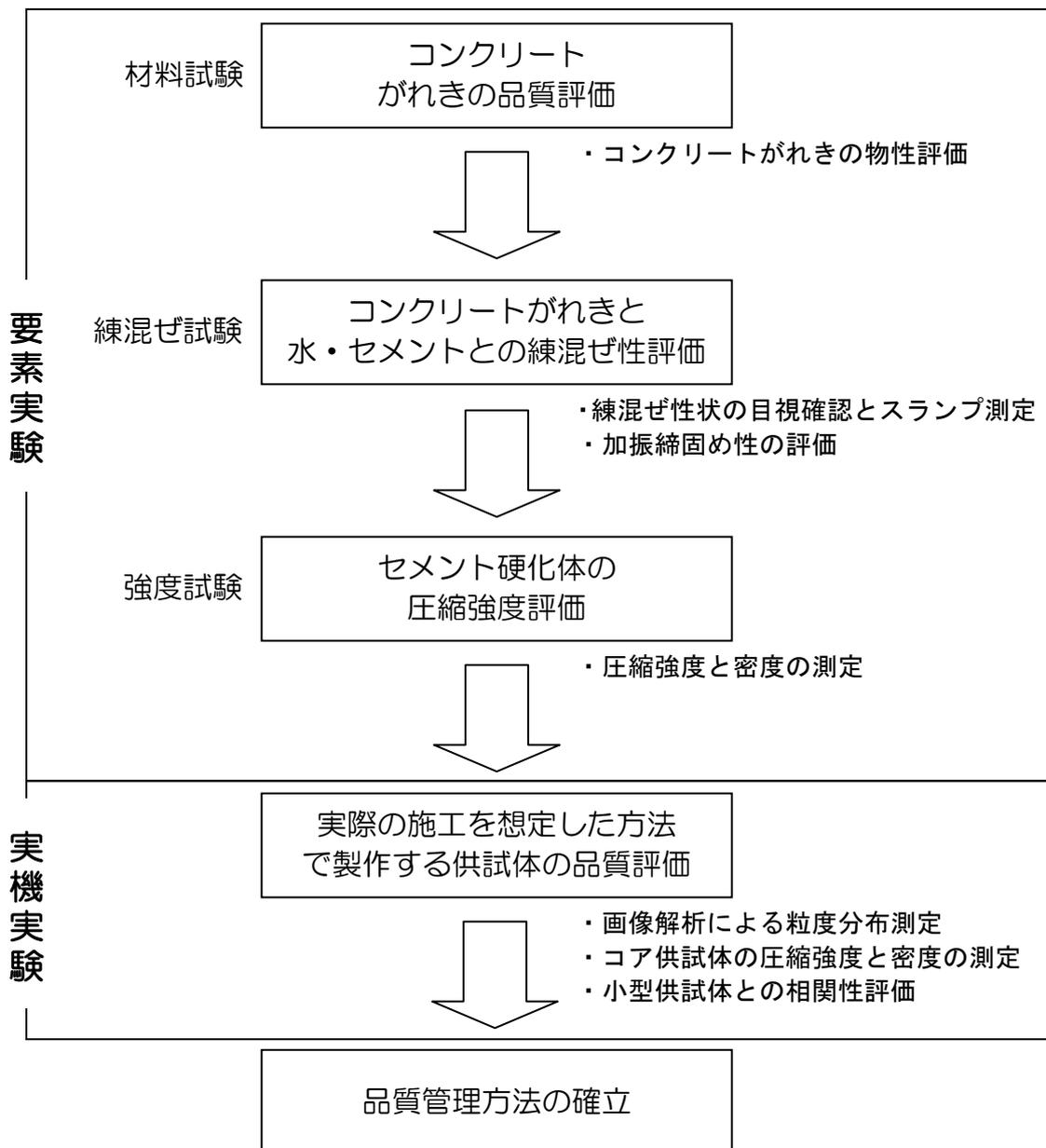


図-1 本技術開発の検討フロー

7.2.2. コンクリートがれきの要素実験

(1) 材料試験

表-2 にコンクリートがれきの材料試験内容を示す。材料試験は、粒度分布、密度・吸水率、単位容積質量・実積率、および有害物質溶出量について行った。本技術開発では、コンクリートがれきを最大粒径 80mm 程度に破碎し、この試料を用いて材料試験を行った。

試験に用いたコンクリートがれきは、まず、写真-1 に示すようにニブラを用いて数十センチの大きさに切断した。これは、破碎機に投入できる大きさに調整し、長い鉄筋を切断して取り出すための前処理である。このようにして前処理されたコンクリートがれきは、写真-2 に示すようにダンプトラックで場内運搬し、写真-3 に示す破碎機（日立建機社製自走式クラッシャー LT80J-2 型）で実験に供する試料を製造した。この破碎機は、キャタピラによる自走が可能で、破碎後に排出されるがれきの最大寸法を 80mm 程度に調整するのに適している。ニブラで調整したコンクリートがれきは、写真-4、写真-5 に示すようなジョークラッシャーで破碎した。また、写真-6 に示すように、破碎後のがれきは磁選機を通るため、磁性を有する金属の排除がある程度可能である。

破碎機から排出されるがれきの寸法は、ジョークラッシャーの刃間隔を図-2 に示すように調整することによりある程度変えることができる。材料試験では、この刃間隔を 50, 60, 70mm の 3 水準とした。また、コンクリートがれきは表-3 に示す通り、見た目の状態から A, B, C の 3 通りに区分した。A はコンクリートがれきを主体とするもの、B はコンクリートがれきに加え、軽量ブロックやレンガ、瓦、タイルなどの無機質系のがれきを比較的多く含むもの、C はコンクリートがれきに津波堆積物を比較的多く含むもので、軽量ブロックなどもある程度含まれるものである。実際に集積されている状態は、C のものがほとんどであるが、ここでは、コンクリートがれきが多く偏在した場合や、軽量ブロック、レンガ、瓦、タイルなど無機質系のがれきが多く偏在した場合を想定して、A と B のケースでも材料試験を行った。このようにして、コンクリートがれきの種類とジョークラッシャーの刃間隔との組合せで 9 つの試験ケースを設定した。それぞれの試験ケースは表-4 に示すように A50 から C70 の呼称記号で表す。

粒度分布は、試験ケースごとに破碎したがれきを用いて、骨材のふるい分け試験と微粒分量試験により測定した。このとき、適切な粒度分布であるかを確認するため、「砂防ソイルセメント活用ガイドライン（砂防ソイルセメント活用研究会編）2002.1」に記載されている砂防ソイルセメントへの適用事例から、工事の際に測定された粒度分布曲線の範囲を抜き出して評価の目安とした。また、微粒分量については、レディーミクストコンクリート用骨材の品質基準を評価の目安とした。さらに、ふるい分け試験とは別に、実際の工事の際に粒度分布を短時間で測定して、品質管理に反映させることを目的として、画像解析処理を用いた粒度分布推定も行った。図-3 に本手法による粒度分布推定の方法を示す。この手法は、セメント、水と混合する前のコンクリートがれきを自由落下させ、そのときにデジタル画像を撮影して画像処理し、輪郭線の長さから粒径を推定するものである。

密度・吸水率、および単位容積質量・実積率は、粒径 80mm 以下を一括した試験方法がないため、ここでは呼び寸法が 5mm のふるいに留まるものをコンクリート用骨材の粗骨材相当とし、通過するものを細骨材相当として、それぞれコンクリート用骨材の試験方法に準じて測定した。なお、密度・吸水率については、レディーミクストコンクリート用骨材の品質基準を評価の目安とした。単位容積質量・実積率については、明確な品質基準はないが、一般的なコンクリート用骨材として用いられる細骨材や粗骨材での値を目安とした。

有害物質の溶出は、重金属、塩分を対象に、コンクリートがれきから溶出（試験方法は環境庁告示 13 号に準拠）するものと、セメント硬化体から溶出（試験方法は JSCE-G 575 に準拠）するものを測定した。このうち重金属については、土壌の汚染に係る環境基準（環境庁告示 46 号）に定める規制物質である、カドミウム、鉛、六価クロム、ヒ素、総水銀、セレン、ふっ素、ほう素、およびシアンを測定の対象とした。

表-2 コンクリートがれきの材料試験

評価項目	試験名	試験方法
粒度分布	ふるい分け試験	0~80mm : JIS A 1102 骨材ふるい分け試験 0.075mm以下 : JIS A 1103 骨材の微粒分量試験
	画像解析試験	画像解析処理を用いた粒度分布推定
密度・吸水率	密度・吸水率試験	5~80mm : JIS A 1110 粗骨材の密度・吸水率試験方法 5mm以下 : JIS A 1109 細骨材の密度・吸水率試験方法 試験時の含水率については, JIS A 1125に準拠する
単位容積質量・実積率	単位容積質量試験 実積率試験	JIS A 1104 骨材の単位容積質量及び実積率試験方法 5~80mm : 試験用器 30リットル 5mm以下 : 試験容器 1~2リットル
有害物質溶出量*1	コンクリートがれきからの溶出試験	環境省告示第13号(産業廃棄物に含まれる金属等の検出方法)
	セメント硬化体からの溶出試験	JSCE-G 575 (硬化したコンクリートからの微量成分溶出試験方法)

*1 : 有害物質溶出量の基準値は, 環境省告示第46号(土壌の汚染に係る環境基準について)に準拠する。

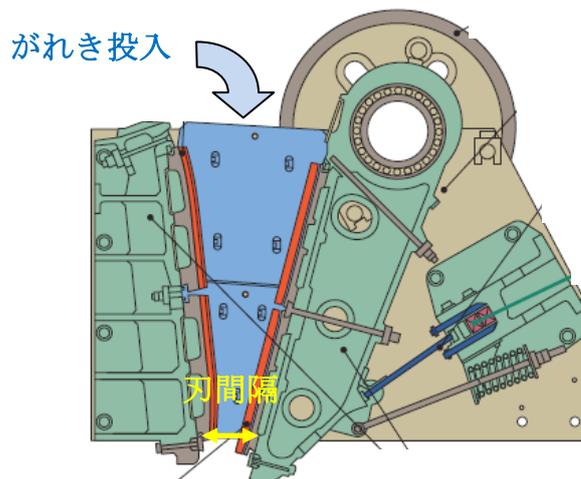


図-2 破砕機の刃間隔

表-3 コンクリートがれきの種類

コンクリートがれきの種類	見た目の状態 (含まれているもの)	破砕機の 刃間隔 (mm)	本実験での 呼称記号	
コンクリートがれき	コンクリートがれきを主体とする。	50	A	A50
		60		A60
		70		A70
コンクリートがれき +軽量ブロック	コンクリートがれきに加え、軽量ブロックやレンガ、瓦を比較的多く含む。	50	B	B50
		60		B60
		70		B70
コンクリートがれき +津波堆積物	コンクリートがれきに加え、津波堆積物を比較的多く含む。軽量ブロックなどもいくらか含まれる。	50	C	C50
		60		C60
		70		C70



写真-1 ニブラによる破碎状況



写真-2 場内運搬状況



写真-3 破碎機全景



写真-4 破碎機がれき投入口部分



写真-5 破碎機ジョークラッシャ部分



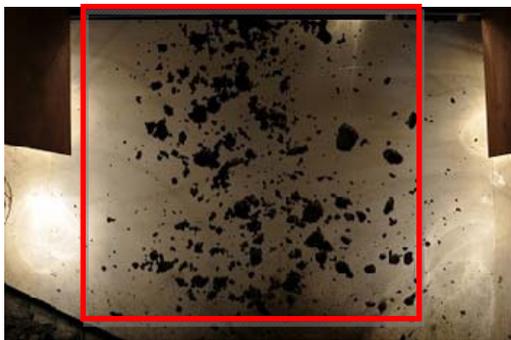
写真-6 破碎機磁選装置部分



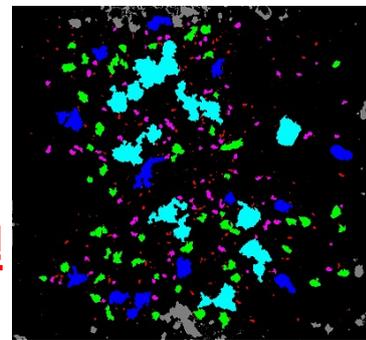
写真-7 破砕機へのがれき投入状況



写真-8 破砕機からのがれき排出状況



撮影画像



二値化画像

図-3 画像解析処理技術を用いた骨材の粒度分布推定例

(2) 小型ミキサによる練混ぜ試験

写真-9～写真-12にコンクリートがれきとセメント、水との練混ぜ試験の状況を示す。また、表-4に練混ぜたセメント混合物のフレッシュ試験項目を示す。小型ミキサによる練混ぜ試験は、2012年3月と6月の2回で実施した。練混ぜ試験に用いたセメントは、1回目は普通ポルトランドセメントに高炉スラグ微粉末を30%置換したものを結合材として使用した。一方、2回目は実機実験に使用したのと同じ市販の高炉B種セメントを使用した。また、コンクリートがれきとして、材料試験の結果からA50、B50、およびC50を用いた。試験ケースの詳細は、「7.3.試験結果」にて示す。

練混ぜは容量が150Lの傾胴ミキサを用いて、1バッチあたりの練混ぜ量を60Lとして行い、練混ぜ性状を目視により確認した。また、練混ぜたコンクリートは、呼び寸法40mmのふるいでウェットスクリーニングして、スランプと加振締固め性を測定した。なお、本技術開発では、施工には振動ローラーを用いることを想定しているため、コンクリートがれきのセメント混合物は、目標スランプが0cmの超硬練り仕様とし、加振締固め性は充填率98%に達するまでの時間が30秒程度となることを目安とした。ここでは、JSCE-F 508「超硬練りコンクリートの締固め性試験方法(案)」に記載されているとおり、加振締固め性試験による充填率が98%に達した状態を完全充填とした。また、試験の一部では、有スランプの仕様でも行った。

練混ぜ試験は、最初に加振締固め性が良好となる配合の選定を行った。具体的には、水セメント比を一定とし、単位水量と単位セメント量を調整して試験練りを繰り返した。次に、S/A(練り混ぜたコンクリートがれき全質量Aに対する、5mmふるいを通過するがれきの質量Sの比率で、通常のコンクリートの細骨材率s/aに相当する値である。ただし、ここでは体積率ではなく、質量率を意味することから、大文字のAとSで表す。)が加振締固め性に及ぼす影響について、試験練りにより確認した。超硬練り仕様に対する試験時の水セメント比は80～120%、S/Aは20～50%の範囲で変化させた。また、超硬練りコンクリートの配合設計に際しては、コンクリートがれきの実積率に基づく間隙充填の指標 α 、 β を参考にした。 α は粒径5mm以下の細骨材相当のがれきの実積率から求まる間隙体積と、それを充填するセメントペースト体積の比率を表す指数である。一方、 β は粒径5mmを超える粗骨材相当のがれきの実積率から求まる間隙の体積と、それを充填するモルタル体積の比率を表す指数であり、いずれも配合理論上は1.0を上回らなければ、完全充填が得られないことを表す指標となる。そのため、小型ミキサによる練混ぜ試験では、 α 、 β ともに1.0を上回る配合で試験練りした。ただし実機実験用の配合では、2配合のうちの一つは、あえてより低セメント量の配合とするために、 α が1.0を下回る配合(ベータは1.0を上回る配合)を選定した。

$$\alpha = (W / \rho_w + C / \rho_c) / (S / w_s - S / \rho_s)$$

$$\beta = (W / \rho_w + C / \rho_c + S / \rho_s) / (G / w_g - G / \rho_g)$$

W：単位水量 (kg/m³)

C：単位セメント量 (kg/m³)

S：単位細骨材量 (kg/m³)

G：単位粗骨材量 (kg/m³)

ρ_w ：水の密度 (kg/l)

ρ_c ：セメントの密度 (kg/l)

ρ_s ：細骨材の密度 (kg/l)

ρ_g ：粗骨材の密度 (kg/l)

w_s ：振動締固めによる表乾状態の細骨材の単位容積質量 (kg/l)

w_g ：振動締固めによる表乾状態の粗骨材の単位容積質量 (kg/l)



写真-9 練混ぜ状況



写真-10 ウェットスクリーニング状況



写真-11 スランプ試験状況



写真-12 締固め性試験状況

表-4 練混ぜたセメント混合物のフレッシュ試験項目

評価項目	試験名	試験方法
スランプ	スランプ試験	JIS A 1101「コンクリートのスランプ試験方法」
締固め性	締固め性試験	JSCE-F 508「超硬練りコンクリートの締固め性試験方法（案）」

(3) 強度試験

写真-13、写真-14 に強度試験の状況を示す。また、表-5 に強度試験の内容を示す。強度試験は、圧縮強度試験（JIS A1108「コンクリートの圧縮強度試験方法」に準拠）と、曲げ強度試験（JIS A 1106「コンクリートの曲げ強度試験方法」に準拠）を行った。圧縮強度試験は、2012年3月と6月の2回の小型ミキサによる練混ぜ試験の際に採取した供試体で実施し、曲げ強度試験は6月の試験の際に採取した供試体で実施した。試験材齢は、3月に採取した供試体で7日と28日、6月に採取した供試体で28日とした。また、コンクリートがれきとして、材料試験の結果からA50、B50、およびC50を用いた。試験ケースの詳細は、「7.3.試験結果」にて示す。

圧縮強度試験の供試体寸法は $\phi 150 \times 300\text{mm}$ 、曲げ強度試験の供試体寸法は $\square 150 \times 150 \times 530\text{mm}$ とし、練混ぜ試験で呼び寸法40mmのふるいでウェットスクリーニングしたものを試料とした。圧縮強度試験用の供試体は、材齢7日で1体、材齢28日で3体とし、曲げ強度試験用の供試体は材齢28日で4体を試験した。曲げ強度試験用の供試体には、曲げ強度の向上を目的に、ポリプロピレン繊維（繊維断面寸法 $0.5 \times 0.9\text{mm}$ 、繊維長48mm）を配合の外割りで1.0Vol.% (9.1kg/m^3) 添加したのもも製作した。

供試体の締固めは、加振締固め性試験装置を用い、配合から供試体を成形するのに必要な試料の質量を算定して、その量を型枠に充填することで製作した。養生は、製作から7日までは鋼製型枠に入れた状態で封緘養生し、その後材齢28日までは標準養生とした。さらに圧縮強度測定時には、載荷試験前に供試体の表乾状態での密度も測定した。



写真-13 圧縮強度試験状況



写真-14 曲げ強度試験状況

表-5 強度試験内容

強度試験項目	試験材齢	供試体寸法	供試体数	備考
圧縮強度	7, 28日	$\phi 150 \times 300\text{mm}$	材齢7日 1体 材齢28日 3体	
曲げ強度	28日	$\square 150 \times 150 \times 530\text{mm}$	4体	有機繊維混入 供試体も製作

7.2.3. コンクリートがれきの実機実験

(1) 実機ミキサによる練混ぜ実験

写真-15 にコンクリートがれきとセメント，水との練混ぜに用いた実機ミキサを示す．また，写真-16～写真-19 にコンクリートがれきとセメント，水との実機ミキサによる練混ぜの状況を示す．コンクリートがれきとセメント，水との練混ぜには，地盤改良土の製造に用いられる自走式混合装置（日立建機社製自走式土質改良機 SR-G2000 型）を用いた．コンクリートがれきは装置後方の投入口からバックホーで供給し，セメントは装置中央のストックビンから供給され，水は外部に設けた水タンクから給水される仕組みとなっている．練混ぜ開始前に，所定の配合で混合できるように各材料の供給量をキャリブレーションして，練混ぜではコンピューター制御で各材料が一定の割合で供給される．供給された材料は，強制二軸ミキサにより連続的に混合され，ベルトコンベアで排出される．

表-6 に実機実験での配合を，表-7 に練混ぜたセメント混合物のフレッシュ試験項目を示す．実機実験での配合は，配合 1（水セメント比 105%，水 158kg/m³，セメント 150kg/m³，がれき 1848kg/m³）と，配合 2（水セメント比 105%，水 105kg/m³，セメント 100kg/m³，がれき 2011kg/m³）の二つとし，コンクリートがれきは，材料試験の結果から C50 を用いた．また，練混ぜたセメント混合物のフレッシュ試験は，小型ミキサによる練混ぜ試験のときと同じく，スランプと加振締固め性について測定した．なお，配合 1 は α が 1.20， β が 1.59 とともに 1.0 を上回る配合であるが，配合 2 は α が 0.74 と 1.0 を下回り， β が 1.33 と 1.0 を上回る配合である．配合 2 については，「砂防ソイルセメント活用ガイドライン（砂防ソイルセメント活用研究会編）2002.1」に記載されている，砂防ソイルセメントへの適用事例を参考に単位セメント量と単位水量を選定したものである．これは，本実験で採用している加振締固め性は良好でないが，振動ローラーによる転圧を行えば，完全充填（加振締固め性試験で充填率 98% に達する充填）には及ばなくともある程度の充填性が得られ，要求される圧縮強度が比較的低いセメント硬化体であれば適用できると考えたものである．なお，配合 2 で最密充填できた場合の理論上の充填率は 86.3% となるが，加振締固め性試験での実測充填率は 81.1% と理論値よりも低いものであった．

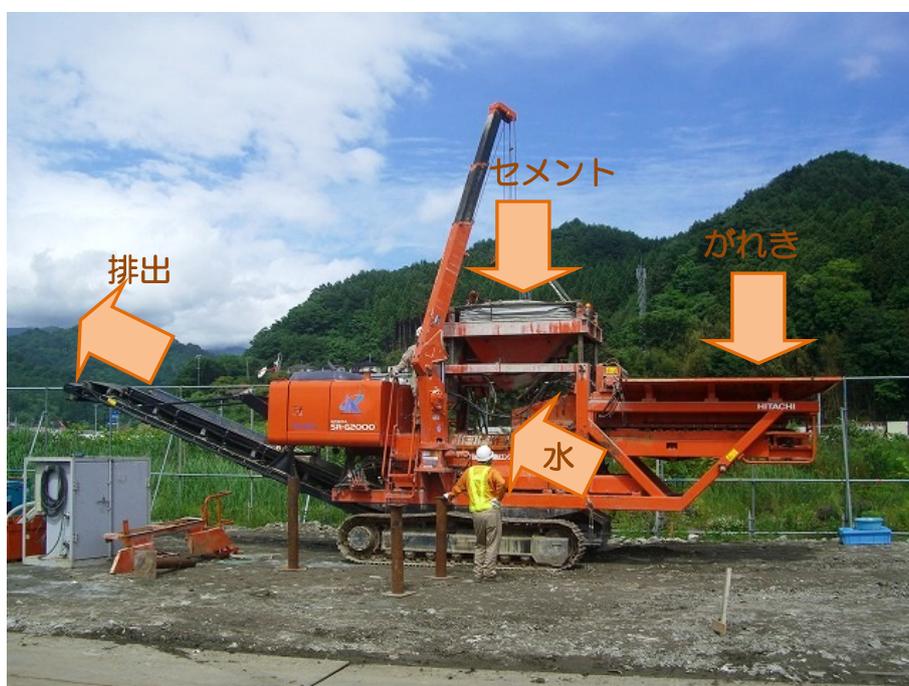


写真-15 コンクリートがれき練混ぜ用の実機ミキサ



写真-16 実機実験の実施状況全景



写真-17 コンクリートがれきの供給状況



写真-18 セメントのストック状況



写真-19 練混ぜ状況

表-6 実機実験での配合

配合	水セメント比 (%)	単位量 (kg/m ³)			α	β
		水	セメント	がれき		
配合1	105	158	150	1848	1.20	1.59
配合2		105	100	2011	0.74	1.33

表-7 練混ぜたセメント混合物のフレッシュ試験項目

評価項目	試験名	試験方法
スランプ	スランプ試験	JIS A 1101「コンクリートのスランプ試験方法」
締固め性	締固め性試験	JSCE-F 508「超硬練りコンクリートの締固め性試験方法（案）」

(2) 転圧実験

写真-20～写真-22 に転圧実験の状況を示す。また、図-4 に実験ヤードの区割りと転圧実験ケースを、表 7.4.2-1 に転圧実験での測定項目を示す。転圧実験は、実機ミキサで練混ぜたコンクリートがれきのセメント混合物を写真-20 のように撒き出し、写真-21 のように 3 トン級ブルドーザ（キャタピラー三菱社製ブルドーザ BD2H）を用いて、15cm の層厚で敷均し、これを 2 層重ねて 30cm の層厚で、写真-22 のように 3 トン級振動ローラー（酒井重工業社製コンバインドローラー TW502S-1）で転圧した。この 30cm の層厚に仕上げる作業を 1 リフトとし、合計 60cm の厚さとなるように 2 リフトの転圧を行った。

転圧実験のケースは、配合を 2 種類と転圧回数を 2 パターンの組合せで、合計 4 ケースとした。配合は、表-8 の実機実験配合で示したとおり、水セメント比は 105% で一定として、単位セメント量を 150kg/m^3 と 100kg/m^3 の 2 種類とした。転圧回数は、振動ローラーを振動させないで自重だけで転圧する無振動転圧を 2 回と振動させながら転圧する有振動転圧を 6 回の計 8 回転圧するパターンと、無振動転圧を 2 回と有振動転圧を 8 回の計 10 回転圧するパターンの 2 パターンとした。

転圧実験の際には、写真-23 に示すようにリフトごとに転圧による沈下量を測定した。また、2 リフトの転圧完了後には、写真-24 に示すように RI 法（放射線測定法）による密度測定を行った。さらに転圧と測定の終了後は、写真-25 に示すように養生マットを敷設して湿潤にし、コアを採取する材齢 28 日まで養生を行った。なお、測定の位置や頻度などの詳細は、「3. 試験結果」にて示す。



写真-20 撒出し状況



写真-21 敷均し状況



写真-22 転圧状況



写真-23 沈下量計測状況



写真-24 RI計測状況



写真-25 養生状況

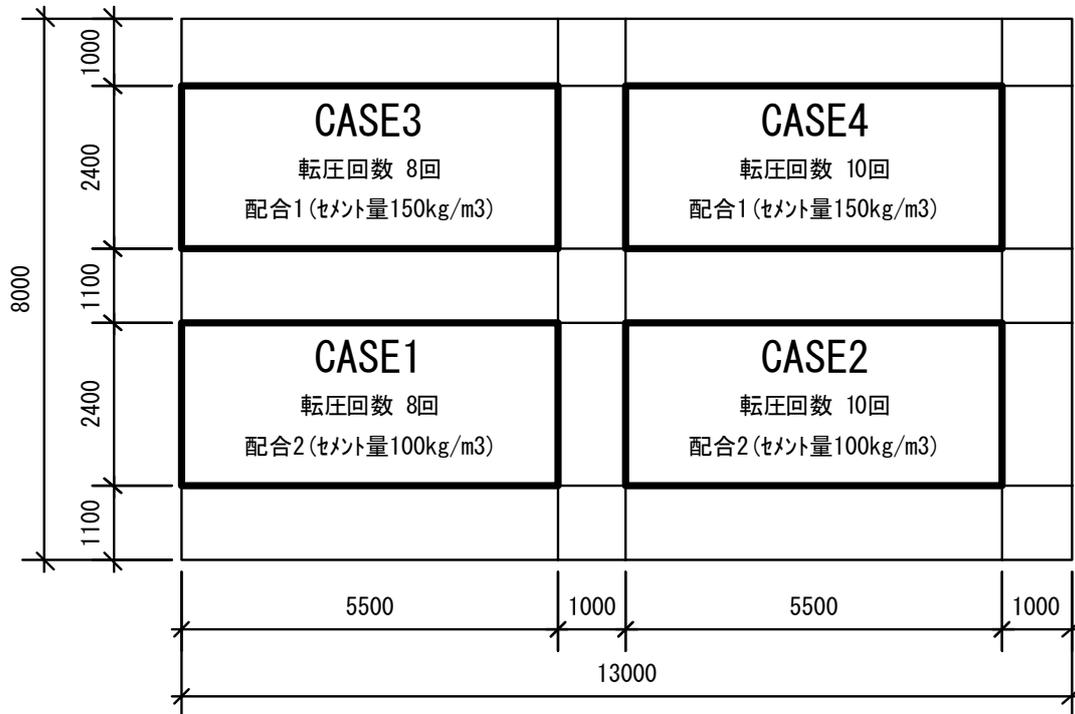


図-4 実験ヤードの区割りと転圧実験ケース

表-8 転圧実験測定項目

評価項目	試験名	試験方法	試験頻度
沈下量	沈下量測定	スタッフとレベルによる水準測量	転圧2回ごとに各ケース6点
現地密度	RI試験 (放射線測定法)	RI (放射線) 密度計測器による推定	第2リフト転圧後に各ケース3点

(3) コア試験

写真-26～写真-29 にコア採取の状況を示す。また、表-9 にコア試験での測定項目を示す。コアは、直径がφ150mm とφ250mm で長さ 600mm の2種類を採取した。採取したコアは、径と長さの比が2.0 になるように切断、整形して密度と圧縮強度の測定を行った。ただし、コア採取の途中で折損したものは、径と長さの比が可能な限り大きくなるように切断、整形して試験に供した。切断、整形したコアは、径と長さ、および質量を測定して見掛けの密度を算出してから圧縮強度を測定した。なお、φ150mm のコアに関しては、切断、整形前に水中質量も測定して真密度も求めた。圧縮強度については、JIS A 1107「コンクリートからのコアの採取方法及び圧縮強度試験方法」にしたがって測定し、径と長さの比に基づく補正値を求めた。



写真-26 コア採取前状況



写真-27 コア採取状況



写真-28 コア外観 CASE2 (C=100kg/m³)



写真-29 コア外観 CASE4 (C=150kg/m³)

表-9 コア試験測定項目

評価項目	試験名	試験方法	試験頻度
コア真密度	水中質量からの真密度測定	コア整形前の水中質量と気中質量から真密度を算定する。	各ケース3本以上を目標
コア見掛け密度	気中質量からの見掛け密度測定	コア整形後の気中質量と体積から見掛けの密度を算定する。	
コア圧縮強度	圧縮強度試験	JIS A 1107「コンクリートからのコアの採取方法及び圧縮強度試験方法」に準拠する。	

7.3. 実験結果

7.3.1. コンクリートがれきの物性確認実験結果

(1) 材料試験結果

表-10 にコンクリートがれきの物性値を示す。ここでは、5mm 以上のがれき（粗骨材相当）と、5mm 以下のがれき（細骨材相当）に分けてそれぞれ評価を行った。ただし、後述の練混ぜ試験の配合については、それぞれの質量率から、がれき全体の物性値を算出して検討を行った。なお、各物性試験は JIS 規準に準じて行った。

表-10 コンクリートがれきの物性値
5mm 以上のがれき（粗骨材相当）

	A50	A60	A70	B50	B60	B70	C50	C60	C70
絶乾密度 (g/cm ³)	2.30	2.31	2.26	1.95	1.84	1.91	2.26	2.28	2.24
表乾密度 (g/cm ³)	2.44	2.46	2.42	2.18	2.09	2.15	2.41	2.41	2.39
吸水率 (%)	6.37	6.68	6.79	12.3	13.9	12.5	6.48	5.87	6.93
実積率 (%)	59.1	59.7	62.8	60.5	62.0	63.9	61.5	61.4	60.3
単位容積質量 (kg/l)	1.36	1.38	1.42	1.18	1.14	1.22	1.39	1.40	1.35
微粒分量 (%)	0.20	4.00	0.70	0.90	1.10	2.30	2.30	2.10	7.90
粗粒率 (%)	7.49	7.94	7.85	7.44	7.97	7.97	7.37	7.36	7.71

5mm 以下のがれき（細骨材相当）

	A50	A60	A70	B50	B60	B70	C50	C60	C70
絶乾密度 (g/cm ³)	2.17	2.10	2.10	1.95	2.11	1.96	2.05	2.11	1.95
表乾密度 (g/cm ³)	2.41	2.4	2.35	2.24	2.33	2.24	2.31	2.26	2.24
吸水率 (%)	9.55	14.0	12.0	12.8	10.5	14.1	11.0	7.26	14.9
実積率 (%)	68.2	70.5	68.6	65.6	64.0	65.8	63.4	58.3	63.1
単位容積質量 (kg/l)	1.48	1.48	1.44	1.28	1.35	1.29	1.30	1.23	1.23
微粒分量 (%)	10.3	8.80	18.0	8.30	8.20	18.5	22.5	20.3	20.2
粗粒率 (%)	2.11	2.08	2.25	2.00	1.88	1.94	1.80	1.92	1.81

1) ふるい分けによる粒度分布

i) ふるい分けの概要

図-5 にコンクリートがれきの粒度分布を示す。また、写真-30～写真-32 に刃間隔 50mm で破碎を行ったそれぞれのコンクリートがれき粒度別の破碎状況を示す。

ここでの A, B, C とは、表-11 に示すように、コンクリートがれきの種類 (A: コンクリートがれきを主体としたもの, B: コンクリートがれきに軽量ブロックが含まれているもの, C: コンクリートがれきに津波堆積物が含まれているもの) のことであり、その後ろの 50, 60 および 70 の数値は、破碎機の刃間隔 (mm) を表している。例えば、B60 とは、軽量ブロックを含むコンクリートがれきを刃間隔 60mm で粉碎したものである。また、図中の凡例の参考範囲上側, 下側とは、砂防ソイルセメントガイドラインにある既往実績の粒径の範囲を表している。

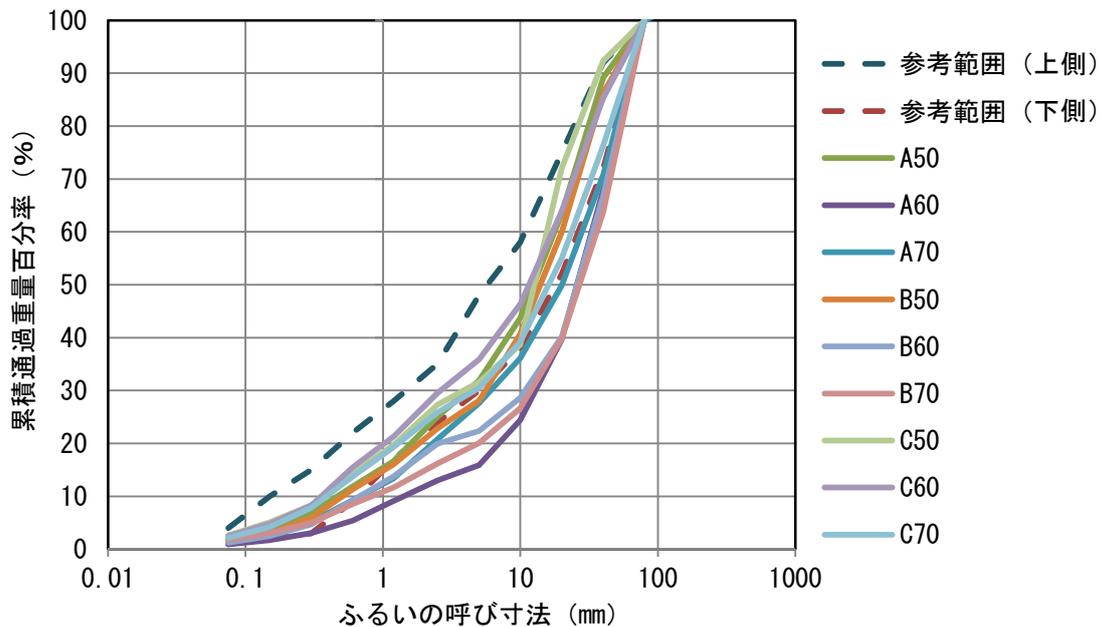


図-5 コンクリートがれきの種類ごとの破碎機刃間隔と粒度分布の関係

表-11 検討ケース (コンクリートがれきの種類, 破碎機の刃間隔)

コンクリート系 がれきの種類	見た目の状態 (含まれているもの)	破碎機の 刃間隔 (mm)	本実験での 呼称記号	
コンクリートがれき	コンクリートがれきを主体とする。	50	A	A50
		60		A60
		70		A70
コンクリートがれき + 軽量ブロック	コンクリートがれきに加え、軽量ブロックやレンガ、瓦を比較的多く含む。	50	B	B50
		60		B60
		70		B70
コンクリートがれき + 津波堆積物	コンクリートがれきに加え、津波堆積物を比較的多く含む。軽量ブロックなどもいくらか含まれる。	50	C	C50
		60		C60
		70		C70



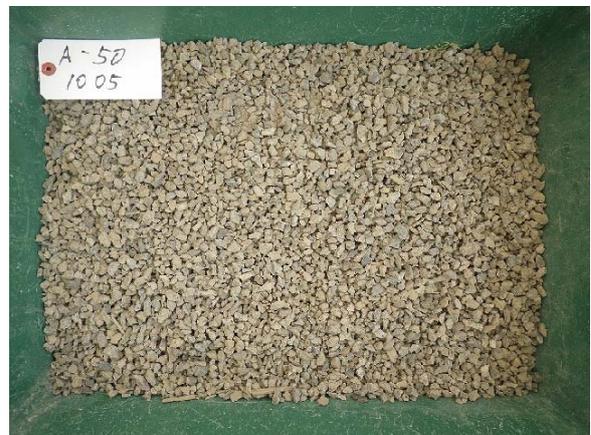
粒径 80~40mm



粒径 40~20mm



粒径 20~10mm



粒径 10~5mm



粒径 5mm 以下

写真-30 コンクリートがれき A50 の粒度別の破碎状況



粒径 80~40mm



粒径 40~20mm



粒径 20~10mm



粒径 20~10mm



粒径 5mm 以下

写真-31 コンクリートがれき B50 の粒度別の破碎状況



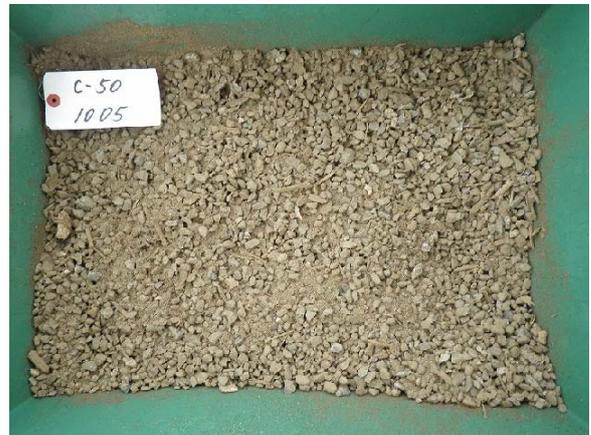
粒径 80~40mm



粒径 40~20mm



粒径 20~10mm



粒径 10~5mm



粒径 5mm 以下

写真-32 コンクリートがれき C50 の粒度別の破碎状況

ii) コンクリートがれき A, B, C の粒度分布

図-6～図-8 には、コンクリートがれきの種類ごとの破砕機刃間隔と粒度分布の関係をそれぞれ示す。これらによれば、コンクリートがれきの種類によらず、刃間隔が狭い方が細くなる傾向が認められ、破砕機の刃間隔を 50mm としたものは砂防ソイルセメントガイドラインにある既往実績の参考範囲内にあるが、その範囲内でも下側近傍に分布しているものが多く見られた。

また、津波堆積物を含むコンクリートがれき C は刃間隔の如何に拘らず、既往実績の参考範囲内にあり、特に粒径 1mm 以下の累積通過百分率が他のものより大きく、津波堆積物が多く含まれていることが影響していると考えられる。

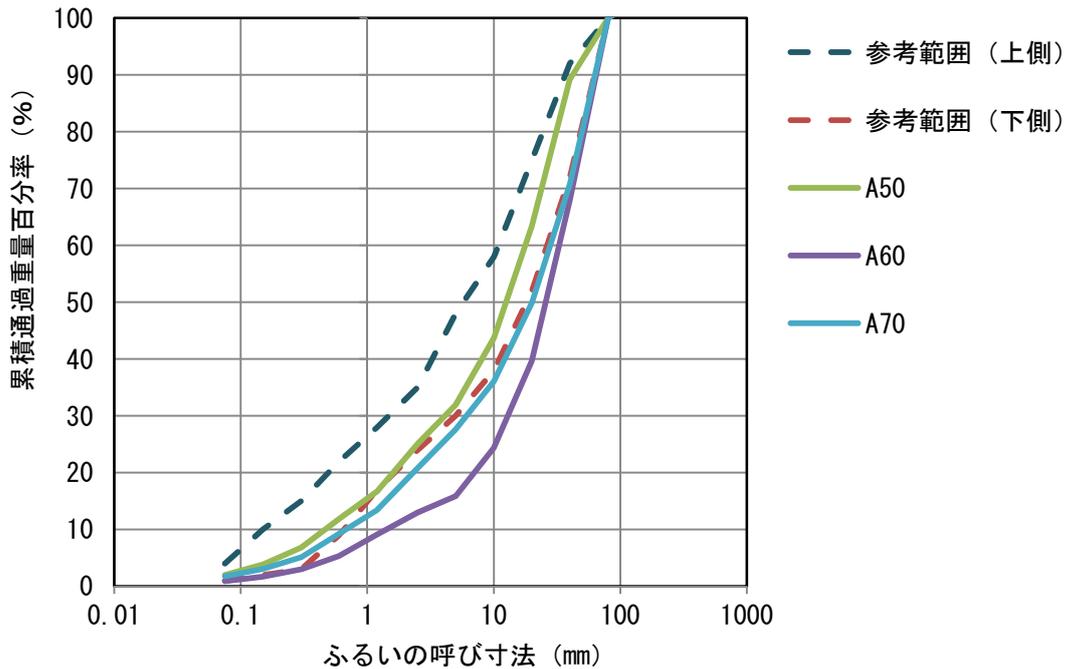


図-6 コンクリートがれき A の破砕機刃間隔と粒度分布の関係

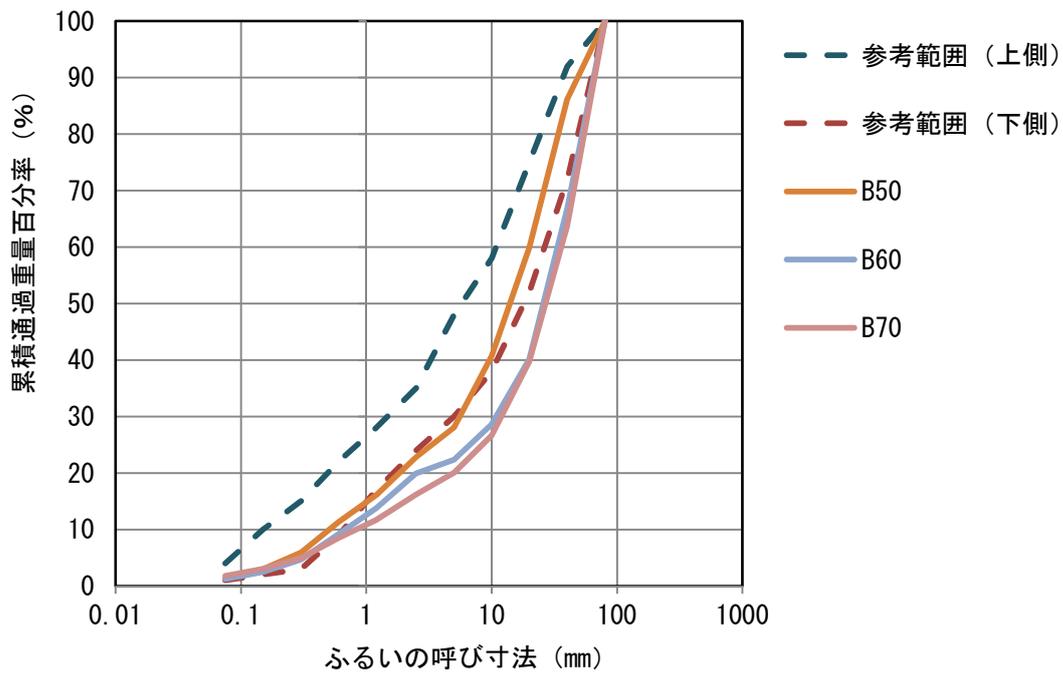


図-7 コンクリートがれき B の破碎機刃間隔と粒度分布の関係

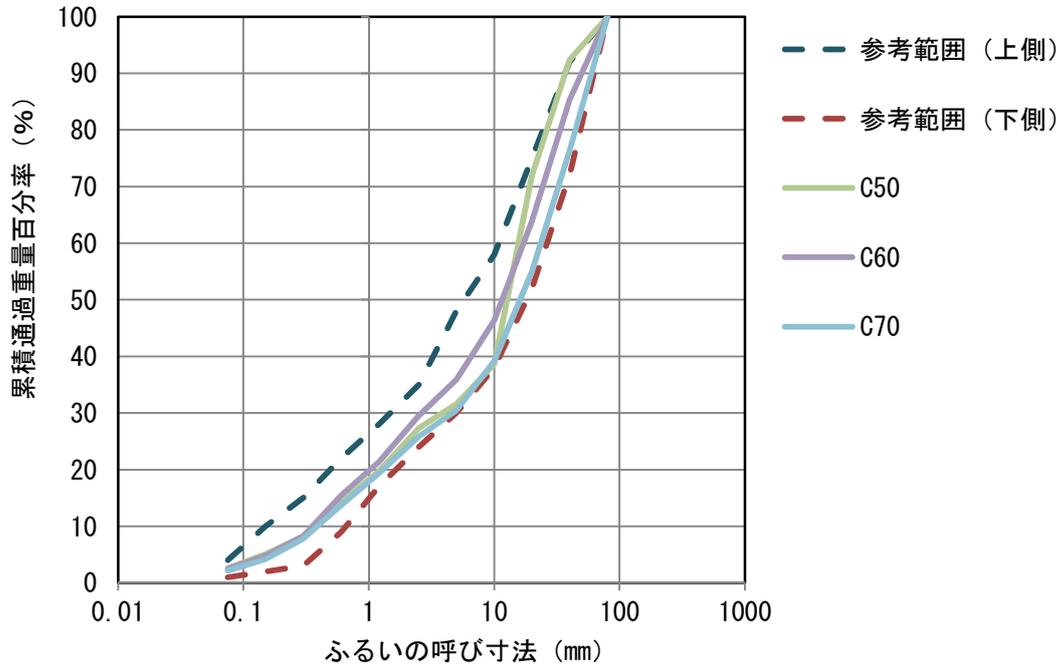


図-8 コンクリートがれき C の破碎機刃間隔と粒度分布の関係

iii) 粒度分布の再現性

コンクリートがれきの粒度分布のばらつきを把握するため、コンクリートがれき C50 を対象として、ふるい分けによる粒度分布の測定を 10 回行った。図-9 に結果を示す。測定に用いた試料は、コンクリートがれき C を集積場から運搬し、破碎機から排出された試料を鋼板で 10 等分したものであり、それぞれに対して粒径 5~80mm の範囲でふるい分け試験を行った。

粒径ごとに若干のばらつきは認められるが、ほぼ同様な分布状況であり、同じ場所から採取したコンクリートがれきを破碎した場合の粒度分布のばらつきは小さいことが確かめられた。

iv) 破碎回数の影響

コンクリートがれきの粒度分布を既往の実績の範囲内とするためには、破碎機による破碎回数も重要なパラメータと考えられる。図-10 に破碎回数と粒度分布の関係を示す。この図は、コンクリートがれき C に対して、刃間隔 50mm による破碎を 1 回行った場合と 2 回行った場合を比較している。

この結果から分かるように、破碎回数を多くすると、細粒分が多くなる状況が確認できる。また、破碎回数が 1 回または 2 回のいずれも、粒度分布は参考範囲内にあるが、粒度 40mm 以上を見てみると、破碎回数を 2 回としたものは実績範囲の上限にあるため、破碎回数としては 2 回が限度であると考えられる。

本技術開発の目的である、コンクリートがれきの迅速な大量処分方法として、破碎に要する費用や時間を考慮すると、破碎回数は 1 回でよいと判断した。

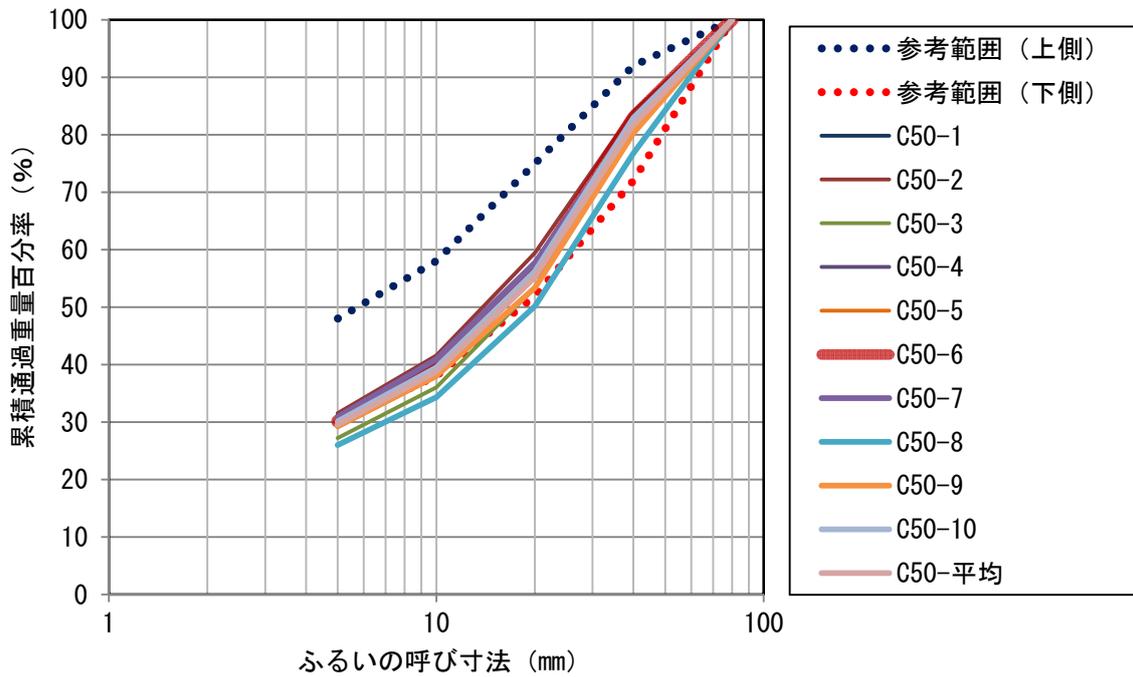


図-9 コンクリートがれき C50 の粒度分布

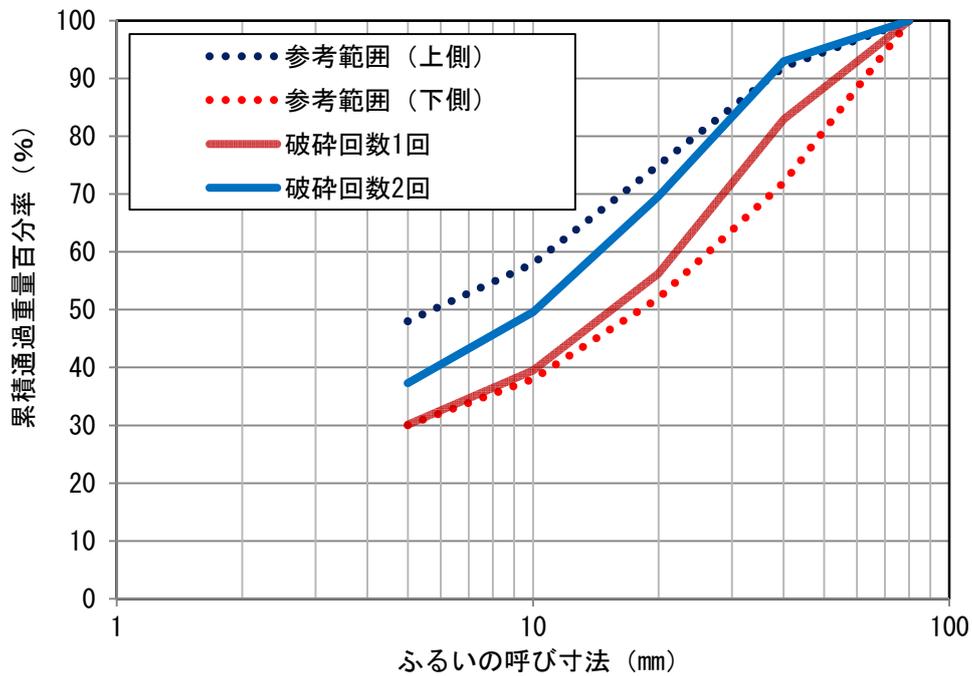


図-10 破碎回数と粒度分布の関係

2) 画像解析処理による粒度分布推定実験

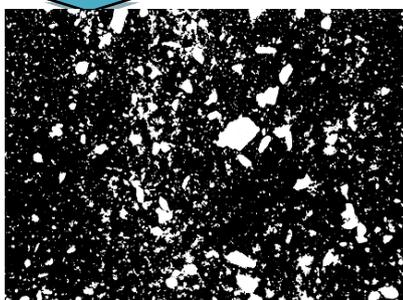
i) 画像処理の概要

図-11 に画像解析処理による粒度分布推定の手順を示す。本画像解析処理技術は、デジタルカメラで撮影した画像から、各粒子の面積を算出し、所定の粒径毎の合計面積を求める。求められた粒径毎の合計面積に予め把握してある粒径毎の重量換算係数を乗じて求められる値から、加積通過率 (%) を算出し、粒度分布曲線を描写するものである。

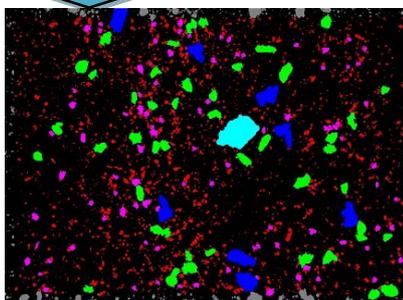
画像撮影



二値化処理



面積算出処理



粒度分布曲線

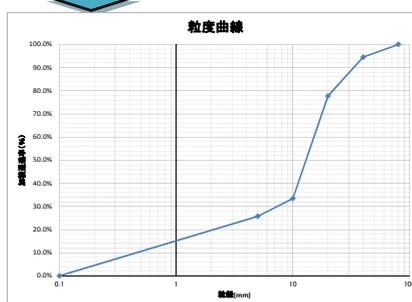


図-11 画像解析技術の測定手順

ii) 画像撮影の方法

写真-33, 写真-34 および図-12 に実験に使用した装置を示す. また, 画像撮影の状況を図-13 に示す. コンクリートがれきはベルトコンベアを使って落下させ, その状況をデジタルカメラにて撮影する. その際に整流板を通過させ, ベルトコンベア上で重なり合った材料を薄層化させる. また, 画像の撮影は整流板通過後に行うが, 材料抽出を容易にするため, 撮影する背景板に発光するバックスクリーンを用いる.



写真-33 実験装置全体状況



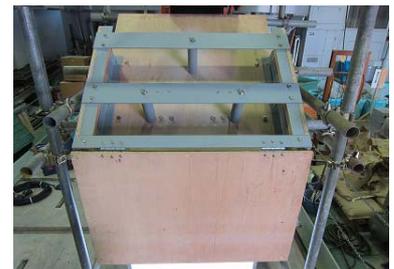
写真-34 実験状況



ベルトコンベア



バックスクリーン



整流板

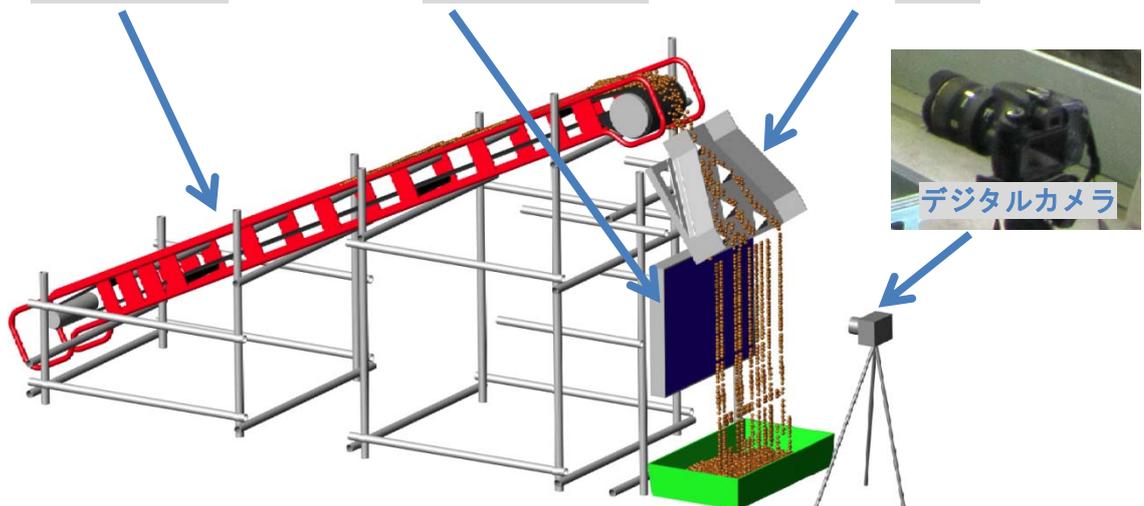


図-12 実験装置概念図

ベルトコンベアの上に
試料をセット



ベルトコンベアの稼働



画像撮影

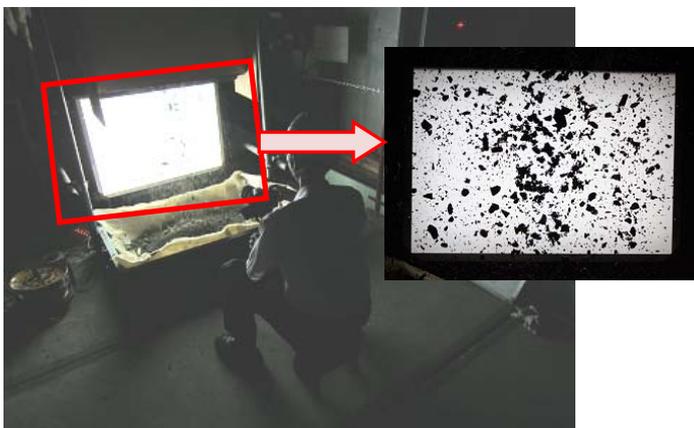
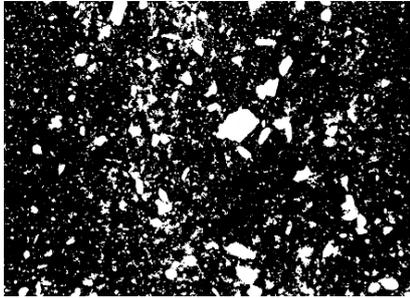


図-13 画像撮影の状況

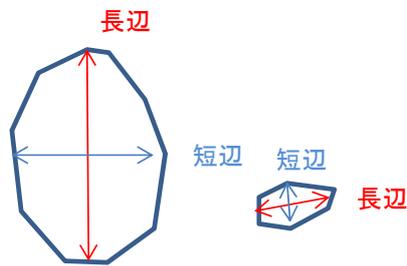
iii) 画像解析処理方法

撮影した画像の解析処理方法を以下に示す。

- ① コンクリートがれきを白色，周囲を黒色とした二値化処理を行う。

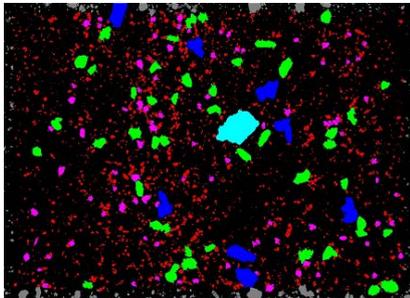


- ② がれき粒子の長辺と短辺を求め，その平均から粒度の判定を行う。

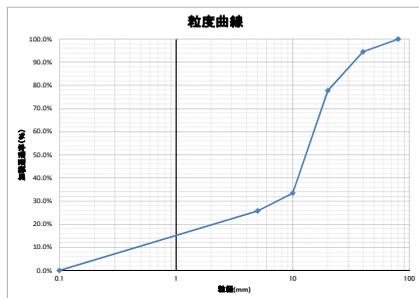


$$\text{がれき粒径} = (\text{長辺} + \text{短辺}) / 2$$

- ③ 既知の1ピクセルあたりの面積から，がれき粒度範囲ごとの面積を算出する。また，粒度範囲ごとに色分けを行う。



- ④ 総面積に既知のふるい分けのデータより求めた重量換算係数を乗じて，粒度範囲ごとの重量を算出し，粒度分布を求める。



iv) 実験ケース

表-12 および図-14 に実験に使用した粒度分布を示す。コンクリートがれきの種類は C シリーズをベースとし、ふるい分けにより求めた粒度分布，ならびにその粒度分布に対して，粗粒分あるいは細粒分を調整した粒度分布の計 7 ケースについて測定し，画像解析法により推定された粒度分布と既知の粒度分布を比較することで画像解析法の精度の検証を行った。また，図-15 に実験試料の作製手順を示す。粗粒分または細粒分の量は，細骨材質量率 (S/A) により調整した。

表-12 実験ケースごとの累積通過重量百分率

粒度分布の状態	Case No.	細骨材質量率 S/A (%)	80-40mm	40-20mm	20-10mm	10-5mm	5mm以下
粗粒分を増加させた状態	1	20	100	91	67	28	20
	2	25	100	92	69	33	25
	3	30	100	92	71	37	30
ふるい分けの状態	4	31.5	100	92	72	39	31.5
細粒分を増加させた状態	5	35	100	93	73	42	35
	6	40	100	93	75	46	40
	7	45	100	94	77	51	45

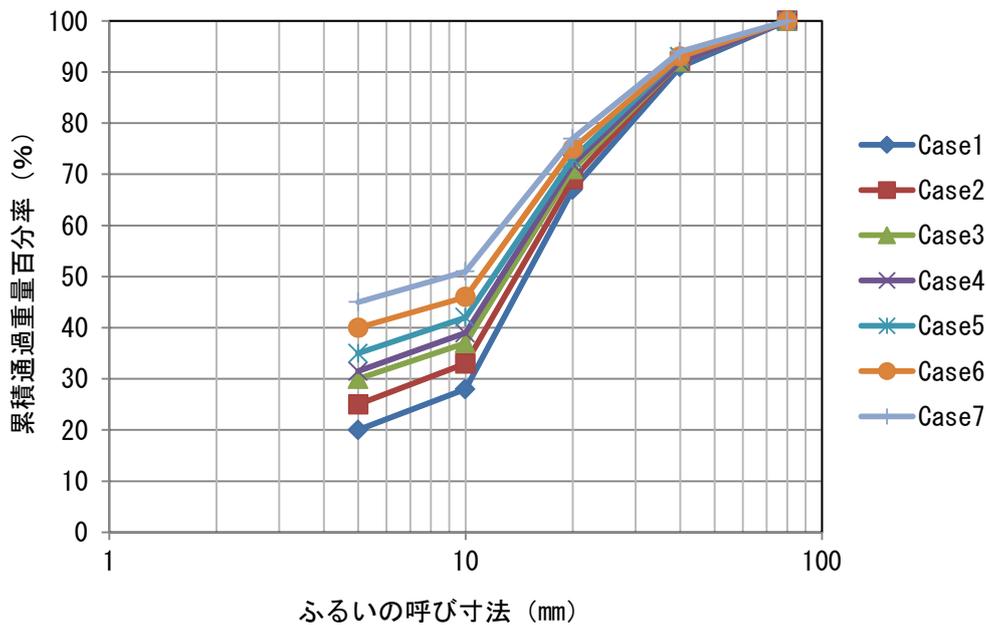
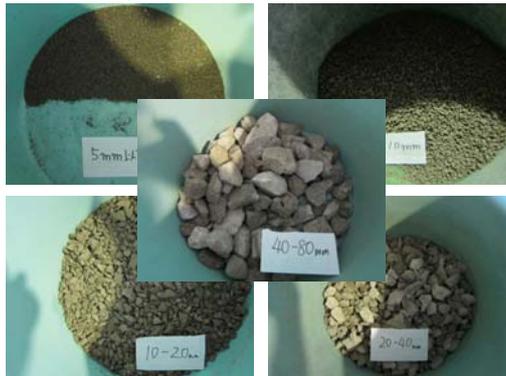


図-14 実験ケースごとの粒度分布

コンクリート
がれきの仮置き



粒径別ふるい



試料製作 (5~80mm)



計量



図-15 実験試料の製作手順

v) 実験結果

図-16～図-22 にそれぞれの実験ケースにおいて画像解析により求めたコンクリートがれきの粒度分布を示す。各ケースとも4回の計測結果を示している。また、調整した粒度分布結果、4つのデータの平均粒度分布、および実際の粒度分布から±3%の範囲についても併せて示した。

いずれの実験ケースにおいても、画像解析により求めた4つのデータの平均粒度分布は、実際のふるい分けによる粒度分布 (Case4)、あるいは粗粒分または細粒分を調整した粒度分布の概ね±3%の範囲内にある。

なお、画像撮影から粒度分布曲線を得るまでに要する時間は、1回の計測で5分程度であった。

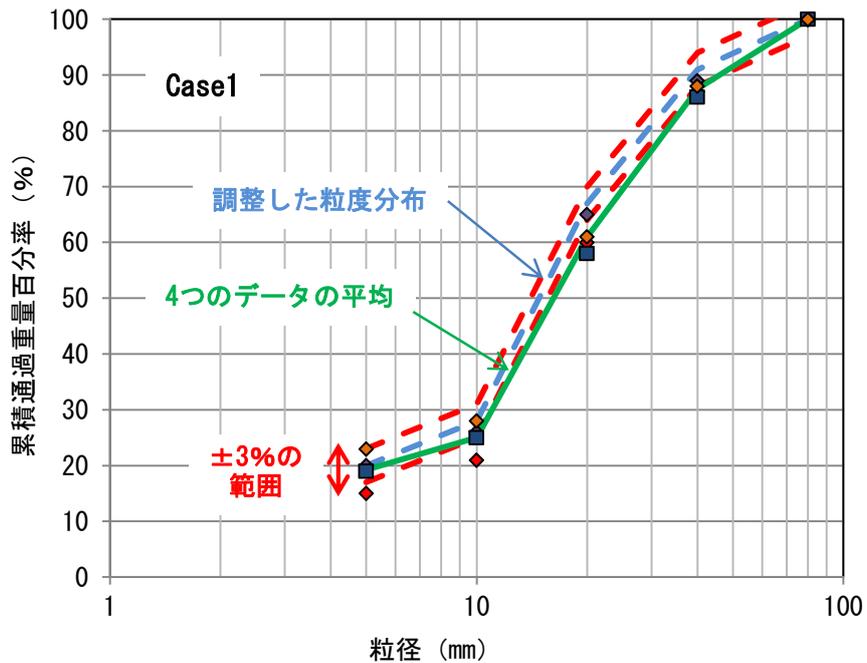


図-16 画像解析により求めたコンクリートがれきの粒度分布 (Case1)

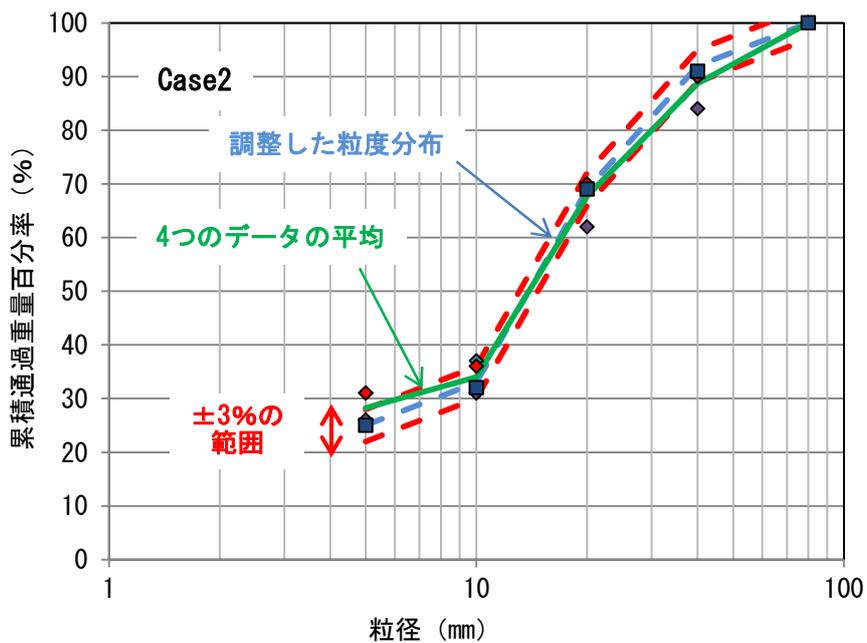


図-17 画像解析により求めたコンクリートがれきの粒度分布 (Case2)

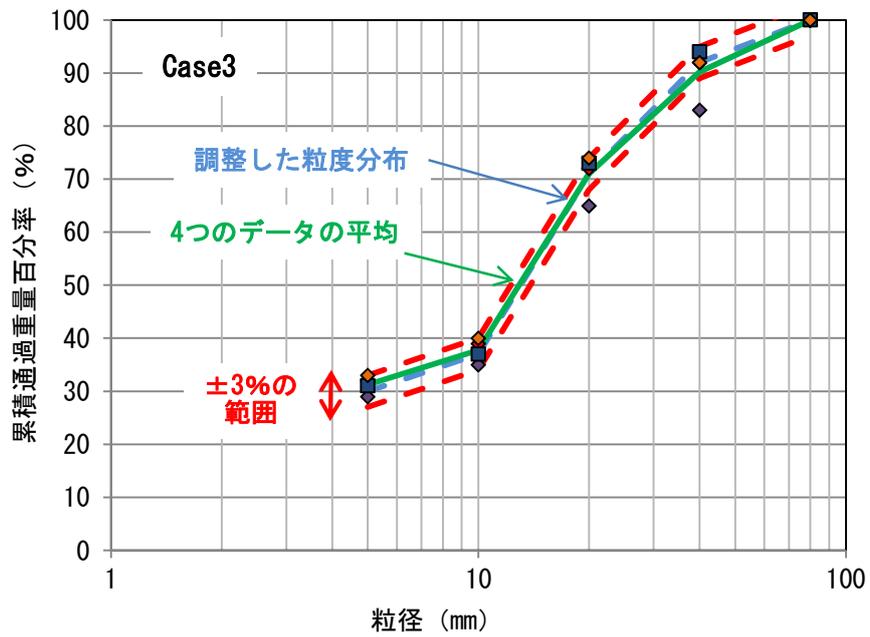


図-18 画像解析により求めたコンクリートがれきの粒度分布 (Case3)

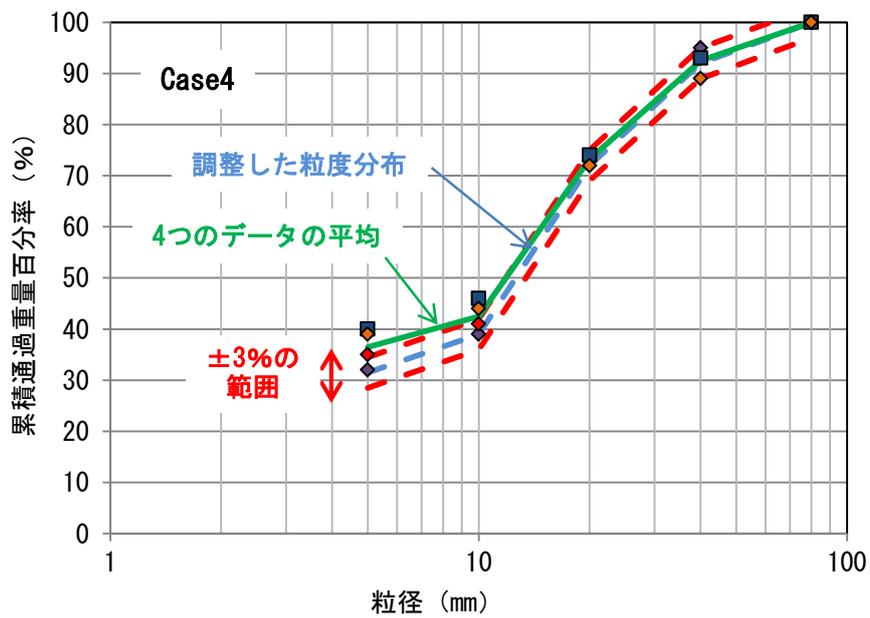


図-19 画像解析により求めたコンクリートがれきの粒度分布 (Case4)

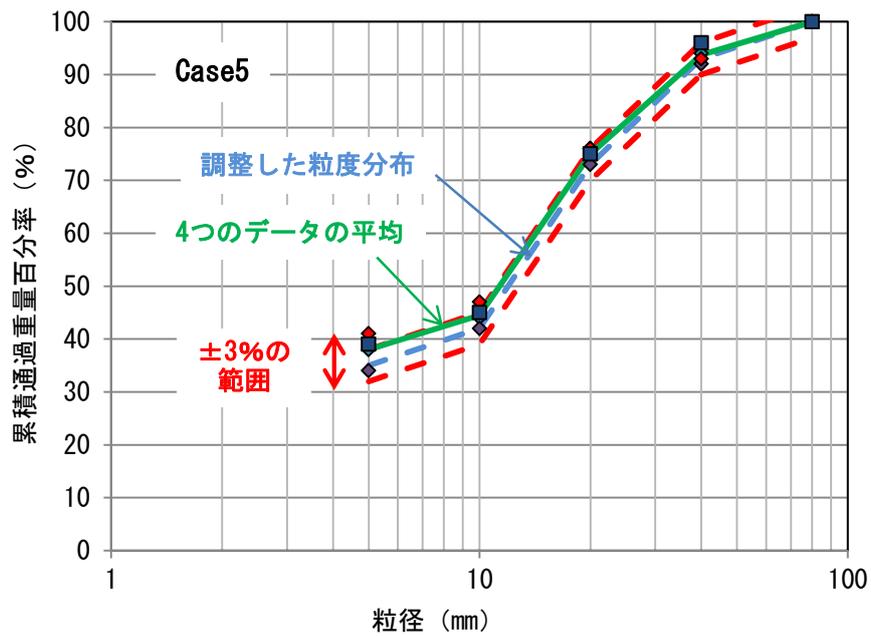


図-20 画像解析により求めたコンクリートがれきの粒度分布 (Case5)

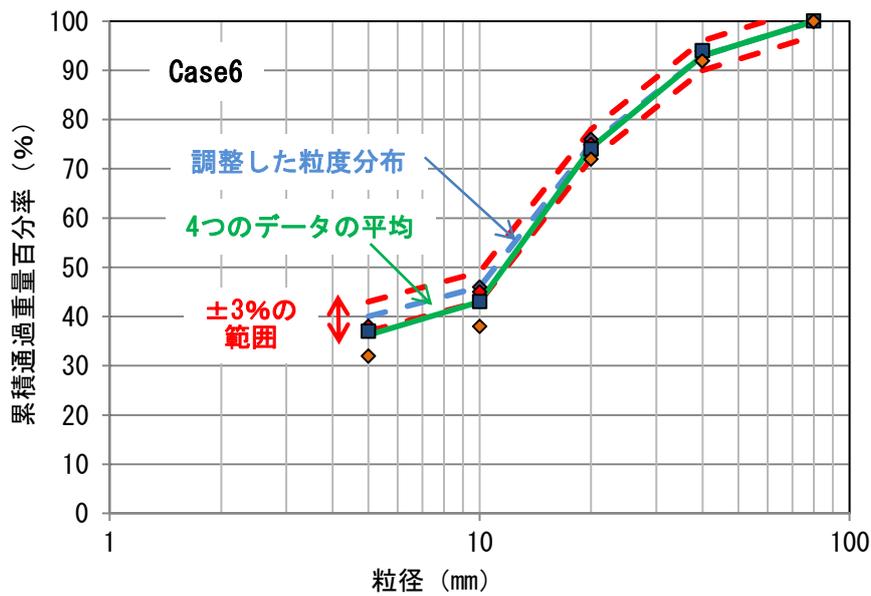


図-21 画像解析により求めたコンクリートがれきの粒度分布 (Case6)

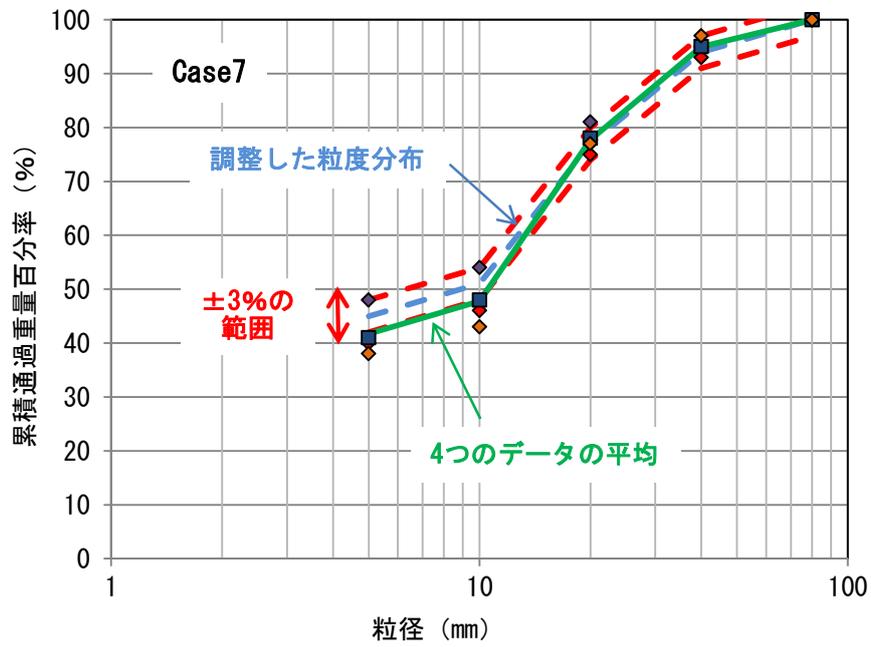


図-22 画像解析により求めたコンクリートがれきの粒度分布 (Case7)

3) 密度・吸水率

図-23 にそれぞれのコンクリートがれきにおける密度・吸水率を示す。通常のコンクリート用骨材（密度：2.60g/cm³程度，吸水率：3.0%以下）に比べて，表乾密度は小さく，吸水率は大きくなった。また，コンクリートがれき B の密度・吸水率は他のがれきに比べて，密度は小さく吸水率が大きくなった。これは，粒径 5mm 以上の軽量ブロックの混入が影響を及ぼしていると考えられる。

コンクリートがれき A および C の絶乾密度は，粒径 5mm 以上（粗骨材相当）と 5mm 以下（細骨材相当）の値の差が大きい。しかし，表乾密度になるとその差は小さくなる。これは，粒径 5mm 以下（細骨材相当）のコンクリートがれきの吸水率が大きいことに起因していると考えられる。これに対して，コンクリートがれき B では，粒径 5mm 以上と 5mm 以下の絶乾密度の差は，表乾密度でもほぼ同程度であった。これは，それぞれの吸水率がほぼ同程度であることが理由として考えられる。

なお，後述のとおり，破碎後のコンクリートがれきの微粒分量は，通常のコンクリート用骨材に比べてかなり多いが，表乾状態はコンクリート用骨材と同じく判断できたため，密度や吸水率はコンクリート用骨材の試験方法に準じてよいと考えられる。

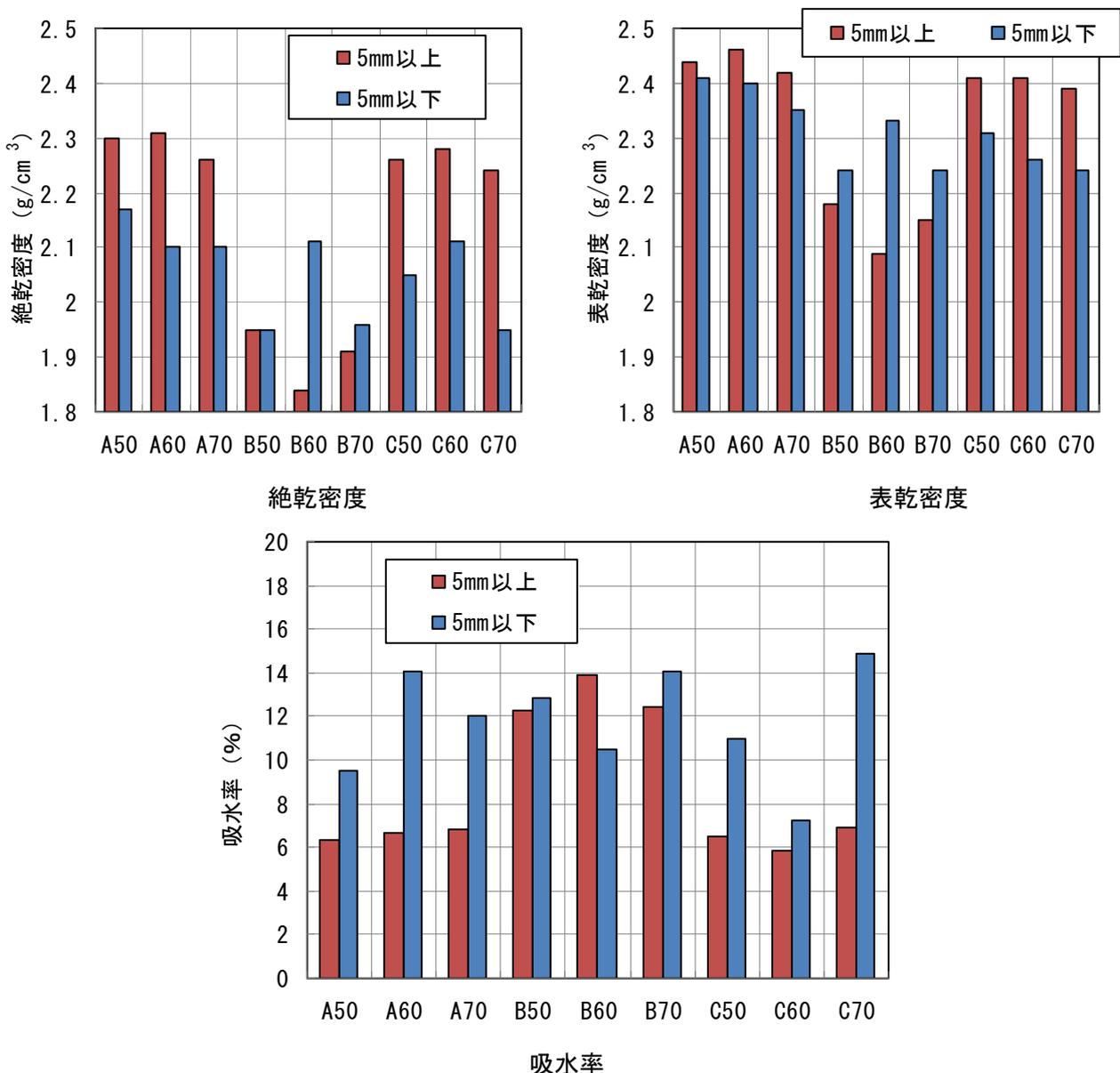


図-23 それぞれのコンクリートがれきの密度・吸水率

図-24 には、コンクリートがれきの表乾密度と吸水率の関係を示す。粒径 5mm 以上（粗骨材相当）のコンクリートがれきにおいては、表乾密度が大きくなるにしたがって吸水率は線形的に小さくなる傾向が認められた。これに対して、5mm 以下の細骨材に相当するコンクリートがれきの場合では、粒径 5mm 以上で認められた線形的な傾向はなく、大きくばらつく結果を示した。

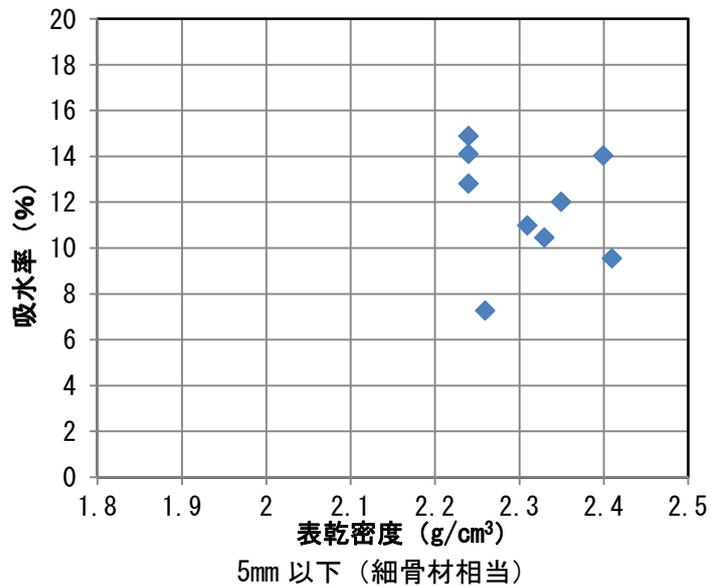
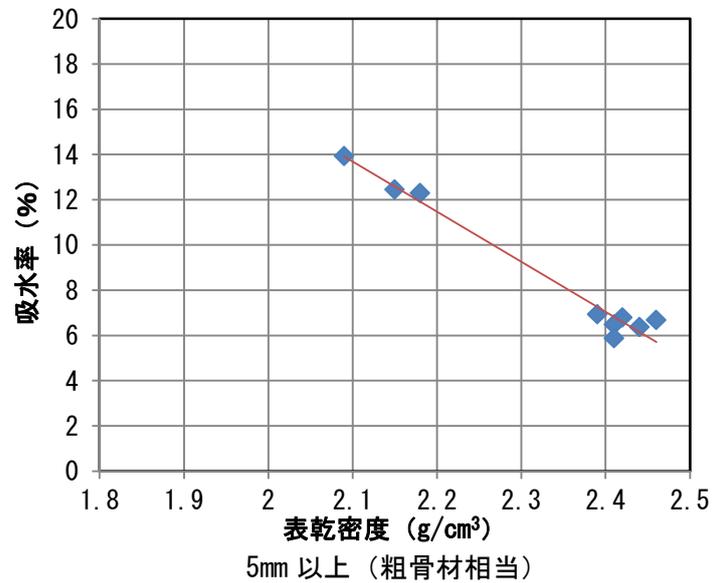


図-24 表乾密度と吸水率の関係

4) 実積率・単位容積質量

図-25 にコンクリートがれきの単位容積質量・実積率を示す。単位容積質量は、破碎装置の刃間隔の影響は殆ど見られないものの、軽量ブロックを含んでいるコンクリートがれき B が幾分小さい。また、粒径 5mm 以上と 5mm 以下で殆ど差が認められなかった。

一方、実積率について見てみると、粒径 5mm 以上と 5mm 以下の差は大きい。これは、実積率は単位容積質量を絶乾密度で除しているため、絶乾密度の差によるものと考えられる。

コンクリートがれきの種類の如何に拘らず、粒径 5mm 以上の粗骨材相当、粒径 5mm 以下の細骨材相当のいずれも、実積率は 60～70%の範囲内にあり、通常のコンクリート用骨材と同程度であった。

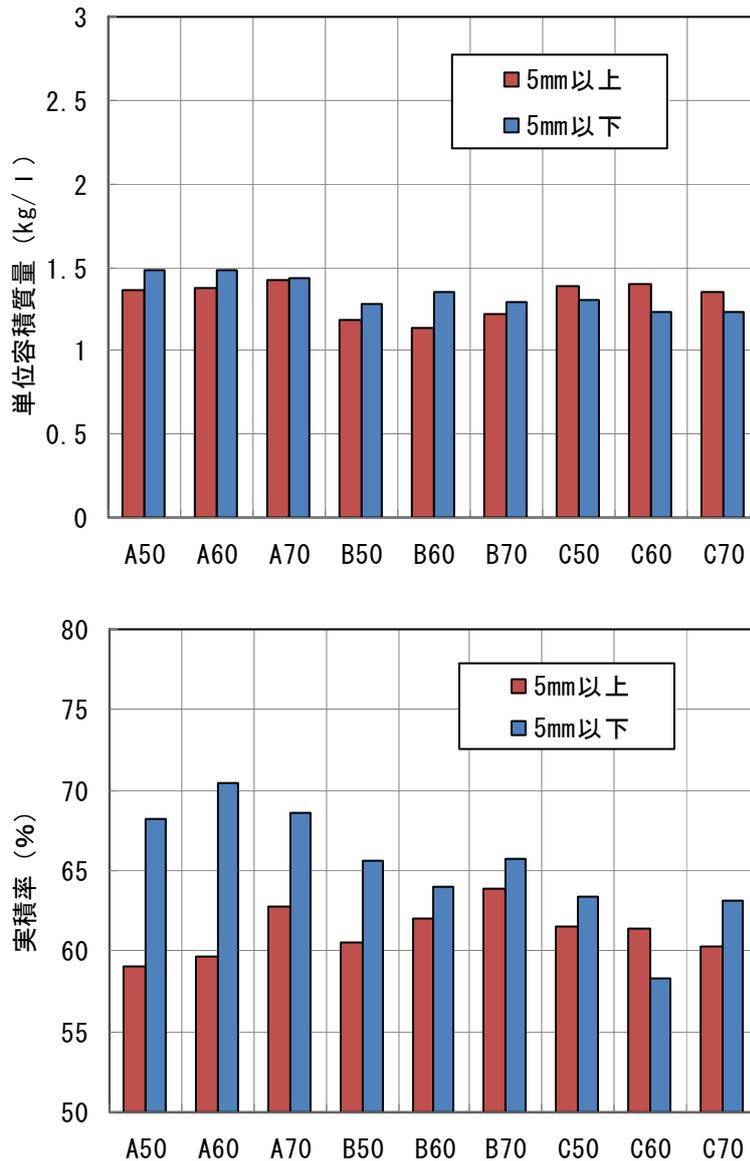


図-25 コンクリートがれきの単位容積質量・実積率

5) 微粒分量

図-26 にコンクリートがれきに含まれる微粒分量を示す。いずれのコンクリートがれきにおいても微粒分は、通常のコンクリート（3%以下）よりも多くなる結果であった。特に、コンクリートがれき C（津波堆積物を含むコンクリートがれき）の微粒分量は多く、津波堆積物由来の微粒分が含まれていると考えられる。また、コンクリートがれき A および B を刃間隔 70mm で破碎した A70, B70 は、刃間隔 50mm および 60mm よりも微粒分量が多く、津波堆積物が多く混入していた可能性があると考えられる。

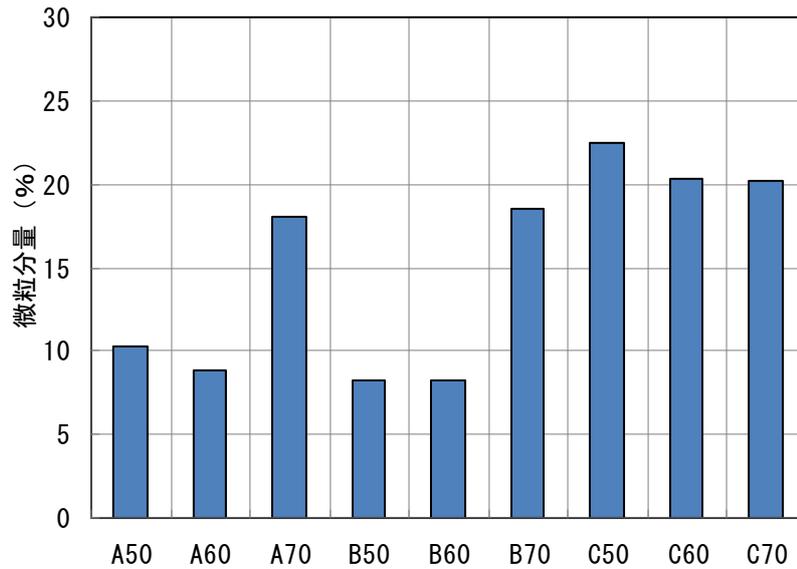


図-26 コンクリートがれきに含まれる微粒分量

6) コンクリートがれきに含まれる混入物について

表-13 および図-27 にコンクリートがれきに含まれる種類別質量混入率を示す。また、写真-35～写真-38 には、それぞれのコンクリートがれきに含まれていた混入物の状況を示す。ここでのコンクリートがれきに含まれる混入物は、粒径 5mm 以上（粗骨材相当）の軽量ブロック、瓦、ガラス、プラスチック、木くず、鉄および紙類である。

実験では、粒径 5mm 以上に相当するコンクリートがれき 30kg に対する質量割合として評価を行った。

コンクリートがれきの種類の如何に拘らず、8 割以上の混入物がコンクリート主体のものであった。また、コンクリートがれき B は、軽量ブロックが他のがれき種類よりも多く含まれていた。いずれにしても、コンクリートがれきに含まれる大部分がコンクリートを主体とした材料であり、他の材料の混入は少ないことから、コンクリートがれき処理施設内の集積場にて、ある程度分別された結果であると考えられる。

表-14 および図-28 に、コンクリートがれき中に含まれている混入物の容積割合を示す。ここでの容積割合は、混入物それぞれの一般的な密度から算出したものである。なお、密度は、軽量ブロックは 1.86g/cm^3 の実測値とし、その他の瓦、ガラス、プラスチック、木くず、鉄および紙類は一般的な密度とした。この結果、木くずの割合が幾分大きくなるが、全体的には質量割合と同じく、8 割以上の混入物がコンクリート主体のものであった。

また、粒径 5mm 以下相当の混入物については、実際に測定は行っていないが、写真-30～写真-32 を見ると、コンクリート以外の混入物は少ないと思われる。これは、今回使用した破砕機では、コンクリートがれきをすり合わせるような破砕方法であることが要因であると考えられる。

表-13 コンクリートがれきに含まれる種類別質量混入率

	コンクリート がれき	軽量ブロック	瓦	ガラス	プラスチック	木くず	鉄	紙類
A70	91.58	8.22	0.10	0.02	0.02	0.04	0.02	0.00
B70	84.84	12.35	2.39	0.02	0.08	0.23	0.08	0.00
C70	89.20	7.52	2.21	0.07	0.28	0.44	0.28	0.00
C50	98.13	1.15	0.01	0.03	0.06	0.42	0.06	0.14

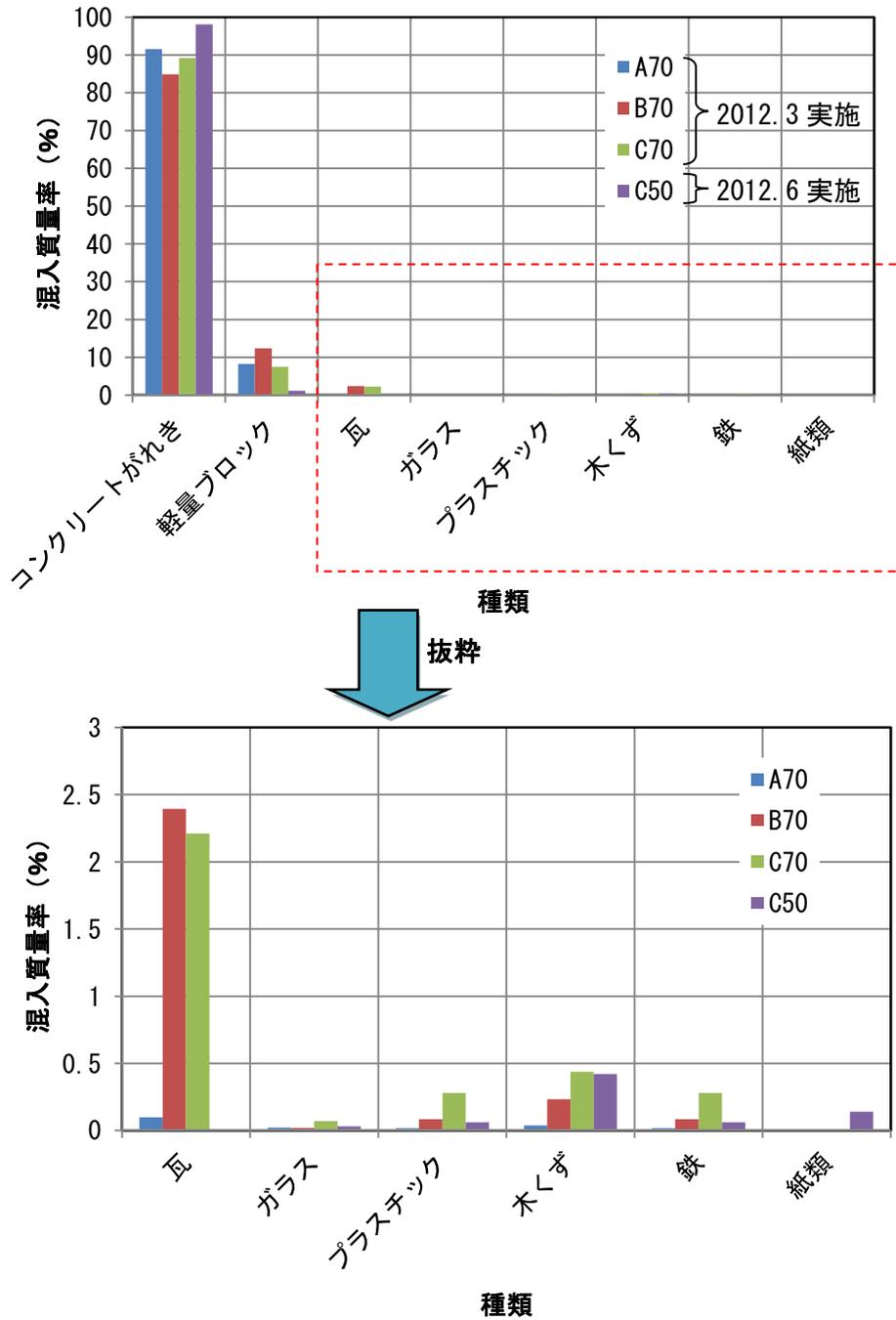


図-27 コンクリートがれきに含まれる種類別質量混入率

表-14 コンクリートがれきに含まれる種類別容積混入率

	コンクリートがれき	軽量ブロック	瓦	ガラス	プラスチック	木くず	鉄	紙類
A70	89.78	9.92	0.10	0.02	0.03	0.15	0.00	0.00
B70	81.85	14.65	2.41	0.02	0.14	0.91	0.02	0.00
C70	86.47	8.97	2.24	0.06	0.46	1.71	0.08	0.00
C50	96.42	1.36	0.01	0.03	0.10	1.67	0.02	0.39

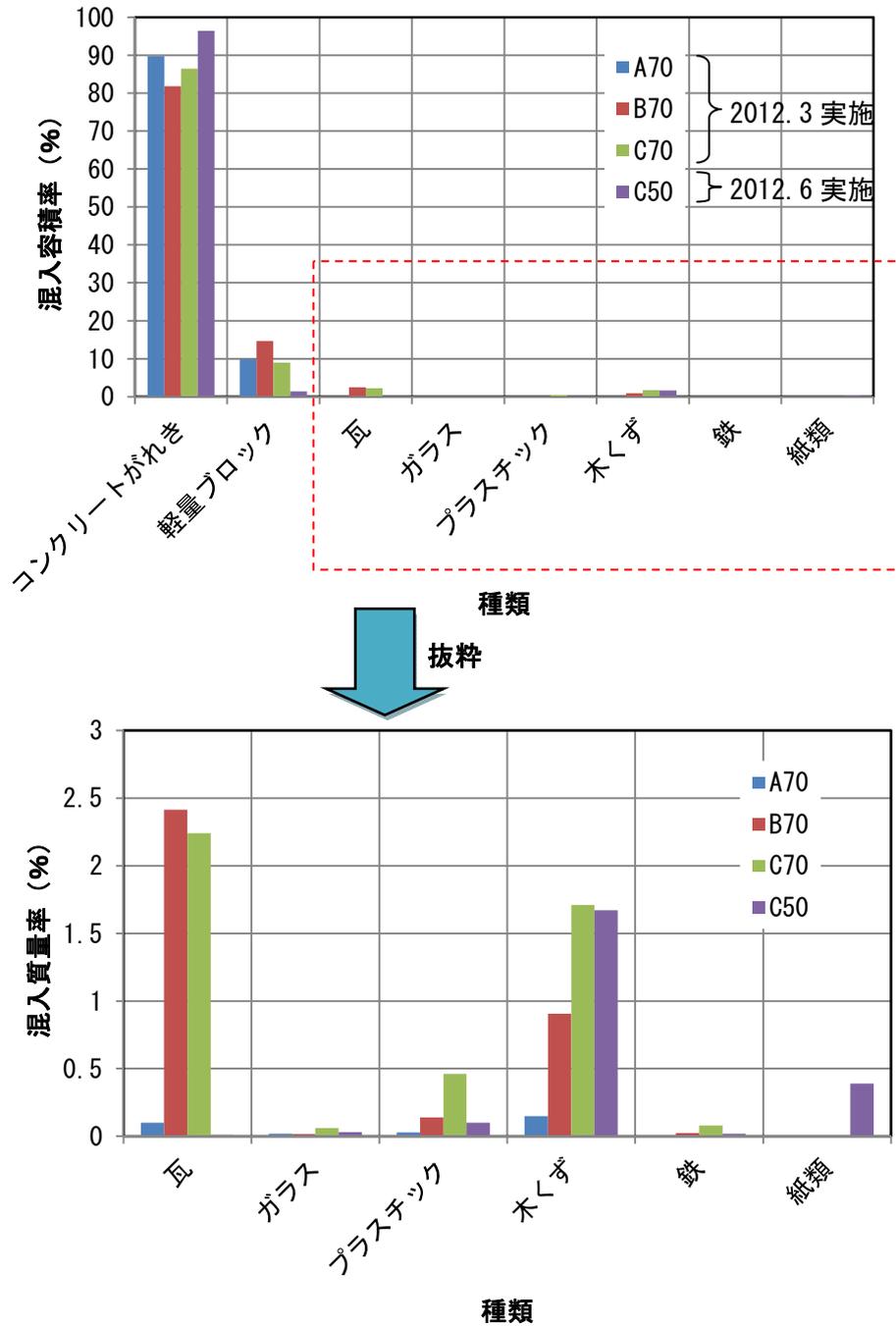


図-28 コンクリートがれきに含まれる種類別容積混入率



粒径 10~5mm



粒径 20~10mm



粒径 40~20mm

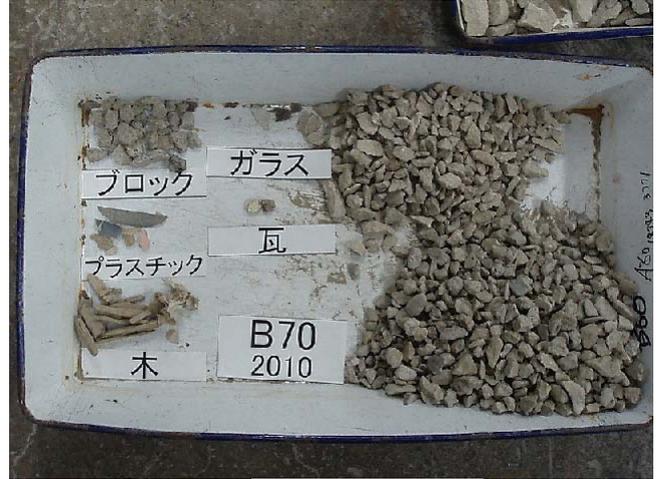


粒径 80~40mm

写真-35 コンクリートがれき A70 に含まれていた混入物の状況



粒径 10~5mm



粒径 20~10mm



粒径 40~20mm



粒径 80~40mm

写真-36 コンクリートがれき B70 に含まれていた混入物の状況



粒径 10~5mm



粒径 20~10mm



粒径 40~20mm

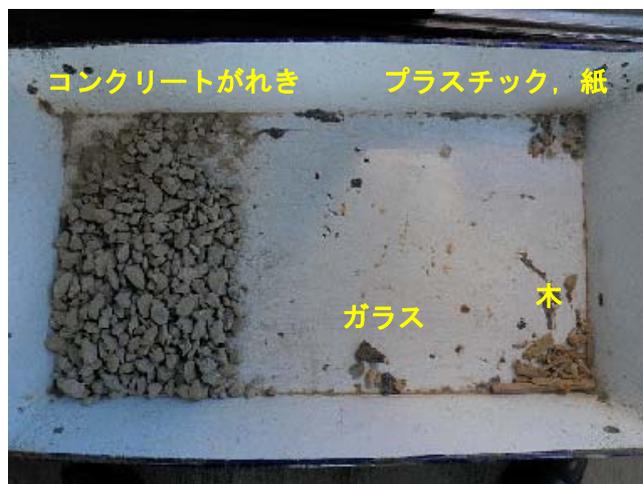


粒径 80~40mm

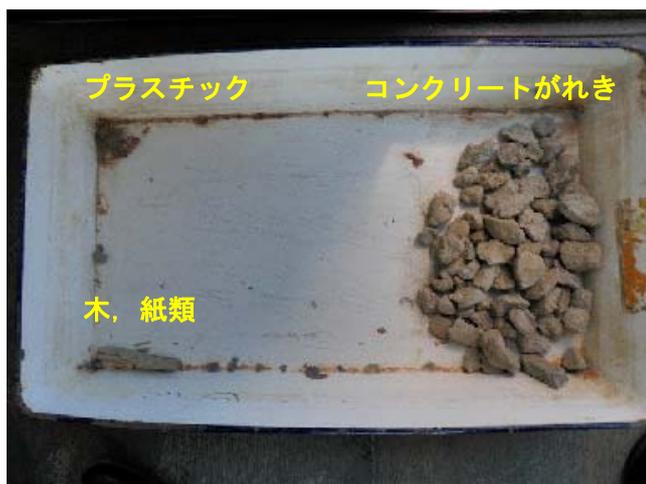
写真-37 コンクリートがれき C70 に含まれていた混入物の状況



粒径 10~5mm



粒径 20~10mm



粒径 40~20mm



粒径 80~40mm

写真-38 コンクリートがれき C50 に含まれていた混入物の状況

7) 有害物質溶出量

i) 試験方法

表-15 に有害物質の溶出試験方法を示す。有害物質の溶出試験は、コンクリートがれき（津波堆積物を含む）とセメント硬化体（コンクリートがれきとセメント・水の混合物が硬化したもの）について行った。

コンクリートがれきに対する有害物質の溶出試験方法は、環境庁告示第 13 号（産業廃棄物に含まれる金属等の検定方法）と、環境庁告示第 46 号（土壌の汚染に係わる環境基準について）が参考となるが、「コンクリートからの微量成分溶出に関する現状と課題（土木学会コンクリートライブラリー111号）」では、コンクリート解体材の再生クラッシュランについて、環境庁告示第 13 号に準拠していることから、本検討でもこれに準拠することとした。一方、セメント硬化体に対する有害物質の溶出試験方法は、土木学会規準 JSCE-G 575（硬化したコンクリートからの微量成分溶出試験方法）のタンクリーチング試験に準拠して測定した。

いずれの試験でも、評価項目は環境庁告示第 46 号に定める成分、すなわち、カドミウム、鉛、六価クロム、砒素、総水銀、セレン、ふっ素、ほう素、シアンとし、基準値もこれに定める値とした。また、環境庁告示第 46 号の評価項目には無いが、溶出検液の pH と塩素イオン濃度についても、セメント硬化体製造への影響の観点から評価項目に加えた。

表-15 有害物質の溶出試験方法

分析対象	試験方法	評価基準	評価項目
コンクリートがれき (津波堆積物を含む)	環境庁告示第13号 (産業廃棄物に含まれる 金属等の検定方法)	環境庁告示第46号 (土壌の汚染に係る 環境基準について)	カドミウム、鉛、六価クロム、 砒素、総水銀、セレン、 ふっ素、ほう素、シアン (pH、塩素イオン) *1
セメント硬化体	土木学会規準JSCE-G 575 (硬化したコンクリートからの 微量成分溶出試験方法 (案))		

*1 : pH、塩素イオンは環境庁告示46号に無い項目

ii) 溶出試験試料

表-16 に溶出試験試料の種類を示す。また、写真-39 に検液製作の振とう状況とタンクリーチング状況を、写真-40 に振とう後の検液を示す。

津波堆積物を含むコンクリートがれきについては、種類 A, B, C を破砕機の刃間隔 70mm で破碎した試料を、JIS Z8801 に定めるふるいで粒径が 0.5mm 以上 5mm 以下になるようにふるい分けたものを試験に供した。また、津波堆積物のみを対象とした試料も同様にふるい分けして試験に供した。一方、セメント硬化体については、水セメント比 100% のセメント硬化体 (φ150×200mm) を製作して試験に供した。いずれの試料もそれぞれ 2 検体ずつ試験を行った。また、セメント硬化体については、溶出開始から 24 時間後と 48 時間後の 2 水準で試験を行った。

表-16 溶出試験試料の種類

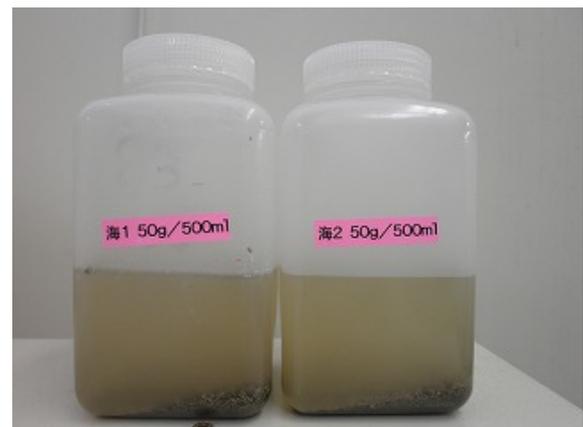
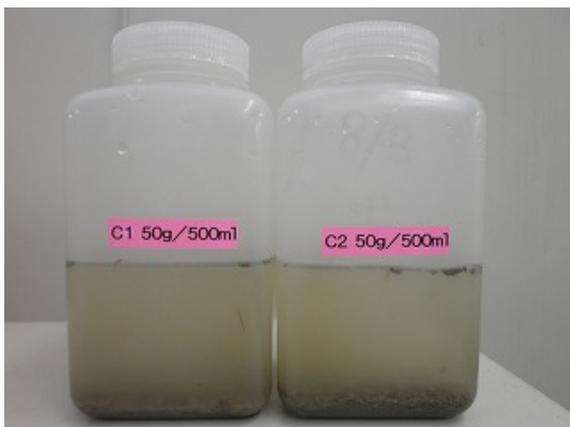
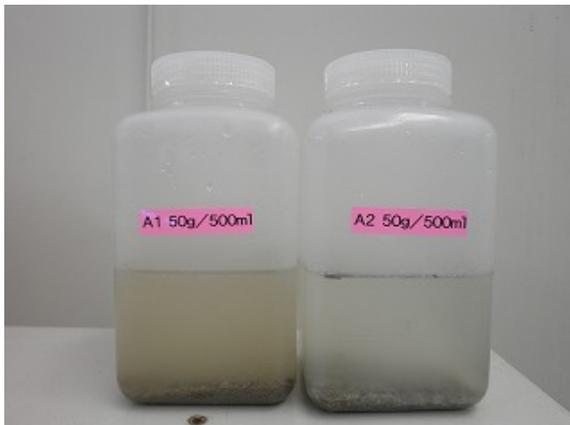
分析対象	試料の種類	数量
コンクリートがれき (津波堆積物を含む)	コンクリートがれきの種類 : A, B, C 破砕機の刃間隔 : 70mm	3試料 (6検体)
津波堆積物のみ	粒径5mm以下の砂成分のみ	1試料 (2検体)
セメント硬化体	水セメント比 : 100% (供試体寸法 φ150×200mm)	1試料 (2検体)



※環告 13 号 検液製作振とう状況
写真-39 検液製作状況



※JSCE-G 575 タンクリーチング状況



コンクリートがれき : C70

津波堆積物

写真-40 検液

iii) 溶出試験結果

表-17 にコンクリートがれきおよび津波堆積物からの溶出量を、表-18 にセメント硬化体からの溶出量を示す。環境基準は環境庁告示第 46 号に示す環境基準とした。ただし、カドミウムについては、地下水環境基準の 0.003mg/L 以下とした。

コンクリートがれきおよび津波堆積物からの溶出量は、がれきの種類 A, B, C のいずれも、六価クロムやカドミウムなどの有害物質は環境基準を下回っており、今回の実験で使用したコンクリートがれきに関しては、有害物質の溶出が周辺環境に及ぼす影響はないと考えられる。ただし、コンクリートがれきは通常の骨材に比べると pH が若干高くなる傾向を示した。また、津波堆積物は塩分を多く含んでいると推察されたが、今回の実験に限っては少量であった。

セメント硬化体からの有害物質の溶出量はコンクリートがれきおよび津波堆積物の結果と同様、今回のコンクリートがれきを用いたセメント硬化体に関しては、有害物質の溶出はほとんどないことが確かめられた。

表-17 コンクリートがれきおよび津波堆積物からの有害物質溶出量

測定物質 /測定項目	環境基準*2 (mg/L以下)	コンクリートがれき、津波堆積物からの溶出量 (mg/L)								分析機器	分析手法*3	備考
		A70		B70		C70		津波堆積物				
		①	②	①	②	①	②	①	②			
カドミウム	0.003	0.001以下	0.001以下	0.001以下	0.001以下	0.001以下	0.001以下	0.001以下	0.001以下	ICP	JISK0102	
鉛	0.01	0.001以下	0.001以下	0.001以下	0.001以下	0.001以下	0.001以下	0.002	0.007	ICP	JISK0102	
六価クロム	0.05	0.005以下	0.005以下	0.005以下	0.005以下	0.005以下	0.005以下	0.005以下	0.005以下	原子吸光	JISK0102	
砒素	0.01	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.004	0.004	ICP	JISK0102	
総水銀	0.0005	0.00005以下	0.00005以下	0.00005以下	0.00005以下	0.00005以下	0.00005以下	0.00005以下	0.00005以下	原子吸光（水銀専用）	JISK0102	
セレン	0.01	0.001	0.001以下	0.006	0.004	0.001	0.001以下	0.001以下	0.001以下	ICP	JISK0102	
ふっ素	0.8	0.343	0.542	0.652	0.553	0.424	0.446	0.154	0.149	IC	JISK0102	
ほう素	1.0	0.056	0.01以下	0.110	0.039	0.013	0.008	0.085	0.055	ICP	JISK0102	
シアン	検出されないこと	未検出	未検出	未検出	未検出	未検出	未検出	未検出	未検出	吸光度	JISK0102	
pH	-	11.65	11.95	11.66	11.86	11.38	11.39	9.64	9.15	pHメーター（ガラス電極）	JISK0102	
電気伝導度	-	200	245	128	187	131	133	15.17	9.95	電気伝導度計	JISK0102	海水：4800ms/m程度
Cl ⁻	-	84.7	91.1	53.1	59.7	59.4	82.1	31.9	32.8	電位差滴定装置	JCI-SC5	海水：13400mg/L程度

*1：環境庁告示13号（産業廃棄物に含まれる金属等の検出方法）に準拠し、試料作製，試料液準備，溶出を行った。

*2：環境庁告示46号（土壌の汚染に係わる環境基準）に準拠した。ただし、カドミウムについては、地下水環境基準の0.003mg/L以下（環告46号：0.01mg/L

以下）とした。

*3：環境庁告示18号に記載されている、JIS K 0102（工場排水試験方法）に準拠し、測定を行った。ただし、Cl⁻についてはJCI-SC5に準拠した。

表-18 セメント硬化体からの有害物質の溶出量

測定物質 /測定項目	環境基準* ² (mg/L以下)	セメント硬化体からの溶出量				分析機器	分析手法* ³	備考
		供試体①		供試体②				
		24時間後	48時間後	24時間後	48時間後			
カドミウム	0.003	0.001以下	0.001以下	0.001以下	0.001以下	ICP	JISK0102	
鉛	0.01	0.001以下	0.001以下	0.001以下	0.001以下	ICP	JISK0102	
六価クロム	0.05	0.005以下	0.005以下	0.005以下	0.005以下	原子吸光	JISK0102	
砒素	0.01	0.002	0.002	0.002	0.002	ICP	JISK0102	
総水銀	0.0005	0.00005以下	0.00005以下	0.00005以下	0.00005以下	原子吸光（水銀専用）	JISK0102	
セレン	0.01	0.001以下	0.001以下	0.001以下	0.001以下	ICP	JISK0102	
ふっ素	0.8	0.318	0.156	0.327	0.161	IC	JISK0102	
ほう素	1.0	0.01以下	0.01以下	0.01以下	0.01以下	ICP	JISK0102	
シアン	検出されないこと	未検出	未検出	未検出	未検出	吸光度	JISK0102	
pH	-	11.67	11.44	11.72	11.44	pHメーター（ガラス電極）	JISK0102	
電気伝導度	-	89.3	52.7	93.4	51.8	電気伝導度計	JISK0102	海水：4800ms/m程度
Cl ⁻	-	50.1	42.1	33.9	42.4	電位差滴定装置	JCI-SC5	海水：13400mg/L程度

*1：JSCE-G 575-2005（タンクリーチング試験）に準拠し，試料作製，試料液準備，溶出を行った。

*2：環境庁告示 46 号（土壌の汚染に係わる環境基準）に準拠した。ただし，カドミウムについては，地下水環境基準の 0.003mg/L 以下（環告 46 号：0.01mg/L 以下）とした。

*3：環境庁告示 18 号に記載されている，JIS K 0102（工場排水試験方法）に準拠し，測定を行った。ただし，Cl⁻については JCI-SC5 に準拠した。

8) 材料試験のまとめ

コンクリートがれきの材料特性を明らかにすることを目的として、幾つかの材料試験を実施した。試験に用いたコンクリートがれきは、コンクリート主体のもの、コンクリートがれきに軽量ブロックが含まれているもの、およびコンクリートがれきに津波堆積物が含まれているものの3種類とし、破碎機刃間隔を50、60および70mmと変化させて検討を行った。以下に得られた結果を示す。

- ・ふるい分けによる粒度分布の結果より、移動式粉碎機の刃間隔が狭くなると細粒分が多くなる傾向が認められ、破碎機の刃間隔を50mmとしたものは、がれきの種類によらず、「砂防ソイルセメント活用ガイドライン」の既往実績の粒度範囲内にあることを確認した。また、破碎回数としては、破碎の費用と時間を考慮すると1回でよいと判断した。

- ・画像解析処理によるコンクリートがれきの粒度分布の推定結果は、実際のふるい分けによる粒度分布の概ね±3%の範囲内にあり、画像解析処理技術による粒度推定ができることが確かめられた。また、1回の処理に要する時間は5分程度であった。

- ・通常のコンクリート用細骨材および粗骨材と比較して、コンクリートがれきの表乾密度は小さく、吸水率は大きく、含水率も高くなることがわかった。これは、粒径5mm以下に含まれる微粒分が10～23%と多いことによると推察される。ただし、通常のコンクリート用骨材と同様に表乾状態は判断でき、密度や吸水率などは、コンクリート用骨材に関する試験方法に準じて評価できる。また、軽量ブロックを多く含むコンクリートがれきの密度・吸水率は、含有量が少ない場合に比べて密度は小さく、吸水率は大きくなることがわかった。

- ・コンクリートがれきに含有されている混入物として、本実験では、軽量ブロック、瓦、ガラス、プラスチック、木くず、鉄および紙類を確認したところ、多くがコンクリートを主体としており、他の材料の混入は少ないことが確かめられた。これは、コンクリートがれきが集積の時点で、ある程度分別されているためと考えられる。

(2) 小型ミキサによる練混ぜ試験結果

1) 実験概要

小型ミキサによる練混ぜ試験は、締固め性試験の充填率 98%以上を確保できる影響要因を明らかにすることを目的として検討を行った。土木学会規準 JSCE-F 508「超硬練りコンクリートの締固め性試験方法（案）」では、充填率 98%に到達した時点締固め完了、すなわち完全充填としており、その時の締固め完了仕事を E_{98} と定義している。ここでは、充填率 98%以上を完全充填と定義し、 E_{98} を完全充填時の締固めエネルギーとする。

表-19 にセメント混合物の評価項目を示す。セメント混合物とは、コンクリートがれきとセメントと水を練り混ぜた、まだ固まらない状態のものであり、通常のコンクリートにおけるフレッシュコンクリートに相当するものである。一方、セメント混合物硬化後は、セメント硬化体と称する。

練上がり時にスランプ試験、締固め性試験およびセメント混合物の温度を測定し、練上がり性状や締固め性状を確認した。

図-29 に練混ぜにおける材料投入の順序を示す。使用した小型ミキサは容量 150ℓ の傾動式ミキサで、練混ぜ量は 60ℓ とした。練混ぜ時間はコンクリートがれきおよび粉体を投入して 30 秒の空練りを行った後に、水を投入してから練混ぜ性状が安定するまでの 90 秒間練り混ぜてから排出した。

また、写真-41 に練混ぜ状況および評価項目の試験状況を示す。

表-19 コンクリートがれきを用いたセメント混合物の評価項目

評価項目	試験名	試験方法
スランプ	スランプ試験	JIS A 1101 「コンクリートのスランプ試験方法」
締固め性状	締固め性試験	JSCE-F 508 「超硬練りコンクリートの締固め性試験方法（案）」
セメント混合物温度	-	温度計による

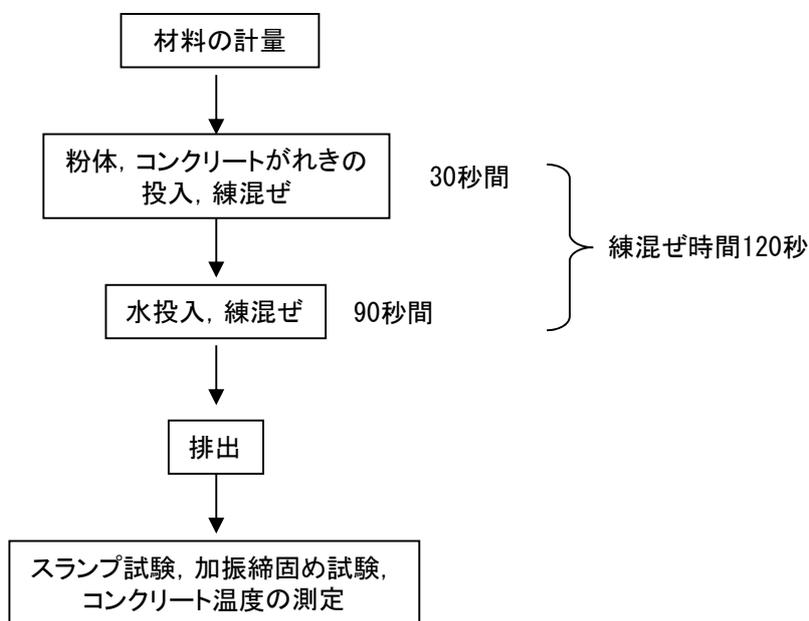


図-29 練混ぜにおける材料投入の順序



粉体、コンクリートがれきの練混ぜ状況



水投入後の練混ぜ状況



排出後の練混ぜ状況



スランプ試験



締固め性試験



締固め性試験型枠脱型後

写真-41 練混ぜ状況および評価項目の試験状況

2) 練混ぜ性状

表-20 に配合および練混ぜ試験の結果を示す。小型ミキサによる練混ぜ試験は、2012年3月と6月に実施した。なお、粉体として、2012年3月は普通ポルトランドセメントに高炉スラグ微粉末を30%置換した、いわゆる高炉セメントA種相当とし、2012年6月では市販の高炉セメントB種を使用した。練混ぜ試験の結果、コンクリートがれきを用いた場合でも完全充填できるスランプ0cmの超硬練り配合のセメント混合物を製造することができることが確かめられた。

ここで、表中の語句について以下に示す。 α 、 β とは、充填性の指標であり、以下の式に示される。 α は粒径5mm以下の細骨材相当のがれきの実積率から求まる間隙体積と、それを充填するセメントペースト体積の比率を表す指数である。一方、 β は粒径5mmを超える粗骨材相当のがれきの実積率から求まる間隙の体積と、それを充填するモルタル体積の比率を表す指数であり、いずれも配合理論上は1.0を上回らなければ、完全充填が得られないことを意味する。また、締固め性試験の初期充填率とは振動締固め開始時の充填率であり、セメント硬化体完全充填時の理論上の高さに対する締固め開始時の試料高さの割合である。

$$\alpha = (W / \rho_w + C / \rho_c) / (S / w_s - S / \rho_s)$$
$$\beta = (W / \rho_w + C / \rho_c + S / \rho_s) / (G / w_g - G / \rho_g)$$

W : 単位水量 (kg/m³)
C : 単位セメント量 (kg/m³)
S : 単位細骨材量 (kg/m³)
G : 単位粗骨材量 (kg/m³)
 ρ_w : 水の密度 (kg/l)
 ρ_c : セメントの密度 (kg/l)
 ρ_s : 細骨材の密度 (kg/l)
 ρ_g : 粗骨材の密度 (kg/l)
 w_s : 振動締固めによる表乾状態の細骨材の単位容積質量 (kg/l)
 w_g : 振動締固めによる表乾状態の粗骨材の単位容積質量 (kg/l)

表-20 配合および練混ぜ性状の結果

	No.	水結合材比 (%)	細骨材質量比 (%)	単位量 (kg/m ³)						α	β	練混ぜ性状				
				水	セメント	高炉スラグ	コンクリートがれき					スランブ (cm)	硬化体温度 (°C)	初期充填率 (%)	完全充填時の 締固めエネルギー (J/L)	
							5mm以上	5mm以下								
								がれき	津波堆積物							
2012年 3月実施	No. 1	100	33.2	130	91	39	1299	623	—	1.03	1.56	0	5	70.4	E98にならず	
	No. 2	100	32.4	130	91	39	1299	623	—	1.03	1.56	0	7	72.5	E98にならず	
	No. 3	100	32.4	150	105	45	1257	602	—	1.22	1.68	0	6	75	22.4	
	No. 4	100	32.4	140	98	42	1278	612	—	1.12	1.62	0	6	72.5	64.7	
	No. 5	100	32.4	140	98	42	1278	612	—	1.12	1.62	0	9	80.6	70.7	
	No. 6	100	20.0	140	98	42	1519	401	—	1.81	1.06	0	10	81.7	E98にならず	
	No. 7	100	25.0	140	98	42	1420	474	—	1.45	1.26	0	9	80.8	236.3	
	No. 8	100	27.8	140	98	42	1367	526	—	1.31	1.39	0	9	87.2	4.98	
	No. 9	100	23.0	140	98	42	1459	436	—	1.58	1.18	0.5	9	86.2	5.35	
	No. 10	100	27.8	140	98	42	1367	526	—	1.31	1.39	0	9	82.8	25.9	
	No. 11	100	27.8	135	95	41	1379	531	—	1.25	1.36	0	7	82.8	9.4	
	No. 12	100	27.8	135	95	41	1379	531	—	1.25	1.36	0	7	測定なし		
	No. 13	90	27.8	135	105	45	1370	527	—	1.29	1.38	0	6	84.4	17.1	
	No. 14	80	27.8	135	118	51	1359	523	—	1.35	1.40	0	6	83.6	9.7	
	No. 15	100	23.5	135	95	41	1433	440	—	1.98	1.16	0	4	81.5	E98にならず	
	No. 16	100	26.4	135	95	41	1303	467	—	1.56	1.32	0.5	4.5	86	4.3	
	No. 17	100	30.0	135	95	41	1339	450	124	1.52	1.44	0	6	92.4	2.9	
	No. 18	100	40.0	135	95	41	1151	451	316	1.14	1.99	0.5	6.5	84.4	5.1	
	No. 19	60	50.0	180	210	90	806	448	358	1.28	3.56	4	9	測定なし		充填率98% に到達しない配合の加 振3分時の エネルギー
	No. 20	100	27.8	125	88	38	1402	557	—	1.14	1.31	0.5	8	84.6	25.9	
	No. 21	100	24.0	125	88	38	1475	466	—	1.32	1.14	0	8	83.8	26.2	
	No. 22	100	30.0	125	88	38	1357	601	—	1.06	1.41	0.5	7	87.3	24.8	
2012年 6月実施	No. 23	100	35.5	125	125*		1254	690	—	0.92	1.42	0	18	測定なし		—
	No. 24	100	35.5	135	135*		1234	679	—	1.02	1.47	0	18	測定なし		—
	No. 25	100	35.5	145	145*		1213	668	—	1.11	1.52	0	18.5	75.6	E98にならず	95.13
	No. 26	100	35.5	155	155*		1193	657	—	1.21	1.58	0	18	76.1	123.4	—
	No. 27	111	8040抜き	172	155*				—	1.11	1.52	0	19	測定なし		—
	No. 28	110	36.7	149	135*		1190	690	—	1.07	1.58	0	19	測定なし		92.46
	No. 29	110	36.7	165	150*		1158	671	—	1.23	1.67	0.5	20	82.7	34.8	—
	No. 30	105	36.7	158	150*		1169	678	—	1.17	1.64	0	22	77.6	70.4	—
	No. 31	100	36.7	150	150*		1180	684	—	1.12	1.61	0	22	77	E98にならず	93.24
	No. 32	100	36.7	158	158*		1164	675	—	1.20	1.65	0	22	75	E98にならず	95.36
	No. 33	100	36.7	158	158*		1164	675	—	1.20	1.65	0	21.5	78.6	76.1	—
	No. 34	120	36.7	120	100*		1250	725	—	0.81	1.43	0	20	72.6	E98にならず	82.77
	No. 35	105	35.8	158	150*		1169	678	—	1.17	1.64	0	19	82	33	—
	No. 36	105	35.8	158	150*		1169	678	—	1.17	1.64	0	20	測定なし		
	No. 37	105	35.8	105	100*		1292	720	—	0.74	1.33	0	20	72.6	E98にならず	81.12
	No. 38	106	28.5	130	122*		1387	553	—	1.18	1.13	0	20.5	73.6	E98にならず	88.02
	No. 39	105	27.5	131	125*		1404	532	—	1.24	1.10	0	20.5	72.3	E98にならず	88.73
	No. 40	105	27.5	142	135*		1380	523	—	1.37	1.15	0	21	77.8	E98にならず	95.07
	No. 41	105	27.5	147	140*		1368	519	—	1.43	1.17	0	22	76.6	E98にならず	96.87
	No. 42	105	27.5	152	145*		1356	514	—	1.49	1.20	0	21.5	77.4	131.6	—
	No. 43	115	27.5	151	131*		1367	518	—	1.44	1.17	0	21.5	77.3	97.2	—
	No. 44	105	32.1	158	150*		1256	594	—	1.34	1.42	0	21.5	77.8	104.5	—
	No. 45	120	27.5	150	125*		1371	520	—	1.41	1.16	0	20	77.6	E98にならず	93.92
	No. 46	105	32.1	147	140*		1279	604	—	1.23	1.36	0	20	75.3	E98にならず	94.73
	No. 47	105	32.1	137	130*		1301	615	—	1.12	1.31	0	21	75.3	E98にならず	89.06

※高炉セメントB種

3) 締固め性状

i) α , β と E98 締固めエネルギーの関係

図-30, 図-31 に α および β と完全充填時の締固めエネルギーの関係を示す。また、これらの完全充填できなかった場合の α , β についても併せて示す。

一般的に充填率 98% に到達する、適切な締固めエネルギーは 100J/L 以下である。 α は 1.4 以上であっても完全充填となる配合が認められた。しかしながら、写真-42 に示すように、セメント混合物表面はペースト量が多く、分離ぎみの状態であった。このことから、 α の適切な範囲としては 1.0~1.4 と考えられる。一方、 β は 1.1~1.7 の範囲で完全充填できたが、1.3 以下を下回ると、写真-42 と同様にペースト量が多く分離ぎみ状態であった。このことから、 β の適切な範囲としては 1.3~1.7 であると考えられる。

ここで、 α , β の値が適切な範囲であっても、配合によっては完全充填とならないものもあった。写真-43 には、 α , β の値が適切な範囲にあり、締固めエネルギーが 100J/L 以下の配合と完全充填とならない配合の締固め性試験終了後のセメント混合物の状況を示した。混合物表面の性状は明らかに異なり、 α , β の値のみで適切な配合と判断することは難しいと考えられる。また、これら 2 つの配合の明らかな違いとしては、コンクリートがれき全質量に対する粒径 5mm 以下のコンクリートがれきの質量比率 (S/A) であり、加振締固めによるセメント混合物の充填率に影響を及ぼす要因として示唆された。

なお、コンクリートがれきの含水率は、通常のコンクリート用骨材よりも高くなるが、コンクリート用骨材を用いるときと同様に表面水率を補正することにより、加振締固め性に優れるセメント混合物が得られることも確かめられた。

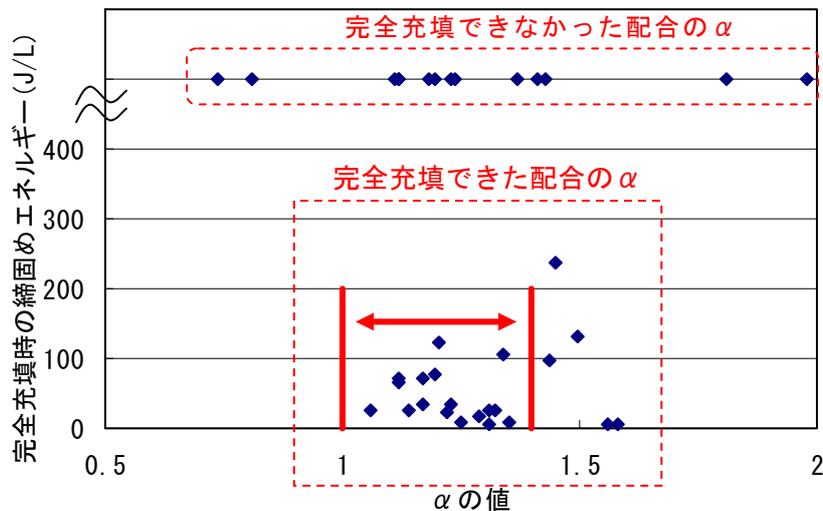


図-30 α の値と完全充填時の締固めエネルギーの関係



$\alpha : 1.58, \beta : 1.18$
スランプ 0.5cm



$\alpha : 1.56, \beta : 1.32$
スランプ 0.5cm

写真-42 α が1.5以上の配合のセメント混合物締固め性状

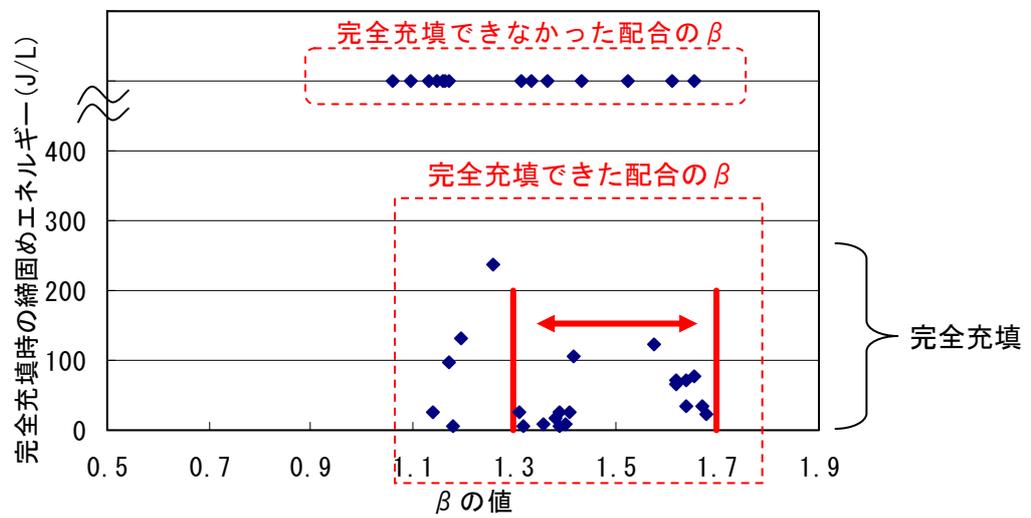
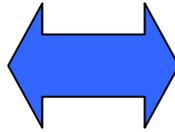


図-31 β の値と完全充填時の締固めエネルギーの関係



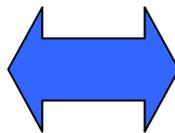
S/A=32.4%
 α : 1.12, β : 1.62
E98 : 70.7 J/L



S/A=35.6%
 α : 1.11, β : 1.52
E98 : 到達せず



S/A=32.4%
 α : 1.22, β : 1.68
E98 : 22.4 J/L



S/A=36.7%
 α : 1.20, β : 1.65
E98 : 到達せず

写真-43 α , β の値が適切な範囲にある場合の締固め性試験後の硬化体の状況

ii) S/A の影響

S/A に応じて適切な単位ペースト量を選定するために、ここでは、締固め性試験 3 分後の充填率で評価を行った。これは、締固め性試験による完全充填とならない場合でも、振動エネルギーを 3 分程度与えると収束すると考えられたためである。

図-32 に締固め性試験 3 分後の充填率と単位ペースト量の関係を示す。また併せて、写真-44 には、S/A=36.7%での加振締固め性試験終了後のセメント混合物の性状を示す。S/A の如何に拘らず、単位ペースト量が多くなるにしたがって、充填率は高くなる傾向を示し、S/A によって完全充填できる単位ペースト量は異なることが確かめられた。これは、S/A ごとにがれきの間隙を充填するのに必要な単位ペースト量があることを意味している。なおこのことから、粒径 5mm 以下の細粒分量が少ない場合には、津波堆積物を多く加えることも可能と考えられる。

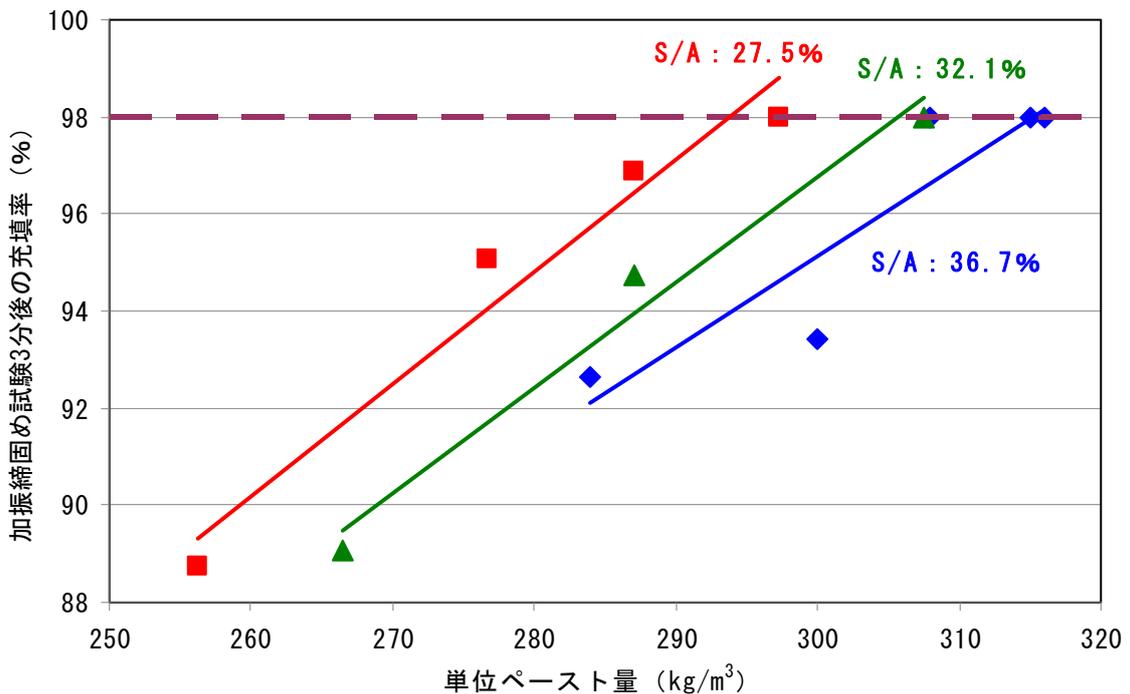


図-32 締固め性試験 3 分後の充填率と細骨材質量率



S/A=36.7%
単位ペースト量 : 284kg/m³



S/A=36.7%
単位ペースト量 : 300kg/m³



S/A=36.7%
単位ペースト量 : 315kg/m³

写真-44 締固め性試験後のセメント混合物の性状 (S/A=36.7%)

iii) 混和剤の影響

表-21 に AE 減水剤を使用した配合とプレーン配合の練上がり性状および締固め性状を示す。また、写真-45 に加振締固め性試験終了後のセメント硬化体を示す。混和剤として用いた AE 減水剤は BASF ジャパン（株）製のポゾリス No.8 である。

AE 減水剤を使用した配合の E98 締固めエネルギーは小さくなる結果を示した。また、練上がりの混合物の性状や初期充填率も良好であった。

練上がりから約 30 分後に再度締固め性試験を行ったところ、完全充填時の締固めエネルギーに変化は認められないことから、夏季など外気温が上昇する状況になった場合は、AE 減水剤等の混和剤も適用できることが確かめられた。

表-21 AE 減水剤を使用した配合とプレーン配合の練上がり性状および締固め性状

	スランプ	測定時期	初期 充填率 (%)	E98締固め エネルギー (J/L)
プレーン配合	0cm	練上がり時	82.8	25.9
		経時27分後	79.4	16.2
混和剤使用配合	0cm	練上がり時	87.2	5.0
		経時34分後	85.1	9.6



AE 減水剤を使用しない
プレーン配合



AE 減水剤使用配合

写真-45 締固め性試験終了後のセメント混合物の状況

4) 小型ミキサによる練混ぜ試験のまとめ

コンクリートがれきをセメント、水と混合したセメント混合物の練混ぜ性状および締固め性状を明らかにすることを目的として、小型ミキサで練混ぜ試験を実施した。以下に得られた結果を示す。

- ・津波堆積物を含むコンクリートがれきを用いた場合でも、完全充填できるスランプ 0cm の超硬練り配合のセメント混合物を製造できることが確かめられた。なお、コンクリートがれきの含水率は、通常のコンクリート用骨材よりも高いが、コンクリート用骨材を用いるときと同様に表面水率を補正することにより、加振締固め性に優れるセメント混合物が得られる。

- ・完全充填が得られる適切な α (粒径 5mm 以下の細骨材相当のがれきの実積率から求まる間隙体積と、それを充填するセメントペースト体積の比率)、 β (粒径 5mm を超える粗骨材相当のがれきの実積率から求まる間隙の体積と、それを充填するモルタル体積の比率) の値は、それぞれ 1.0~1.4, 1.3~1.7 であることが確かめられた。ただし、 α および β の値が適切な範囲にあるにも拘らず、完全充填できない配合も認められ、これは S/A の影響があると考えられた。

- ・コンクリートがれきの全質量に対する粒径 5mm 以下のがれき量の比率 (S/A) と締固めエネルギーとの関係において、S/A の如何に拘らず、単位ペースト量が多くなるにしたがって、締固め性試験 3 分後の充填率が大きくなる傾向を示した。また、S/A に応じて適切な単位ペースト量は異なり、コンクリートがれきの S/A の実測データを基に、単位ペースト量を定めることが可能であることが分かった。また、このことから、粒径 5mm 以下の細粒分量が少ない場合には、津波堆積物を多く加えることも可能と考えられる。

- ・混和剤を使用した場合、完全充填時の締固めエネルギーは小さくなる結果を示し、練上がりの混合物の性状も適切であった。また、練上がり 30 分後の混合物の性状も良好であり、夏季など外気温が上昇した状況になった場合、混和剤の使用も有効であることが確かめられた。

(3) 強度試験結果

1) 圧縮強度

i) 圧縮強度試験の概要

表-22 に材齢 7 日, 28 日における密度および圧縮強度を示す. 試験に用いた供試体は, $\phi 150 \times 300\text{mm}$ の円柱供試体であり, 試料を 40mm のふるいでウェットスクリーニングを行った後に打ち込んだ. 供試体の養生方法は, 材齢 7 日までは封緘養生とし, その後水中養生とした. また, 供試体端面を石膏にてキャッピングを行ってから試験に供した. なお, ポリプロピレン繊維をセメント硬化体容積の 1% 混入した配合 (No.36) と, 単位セメント量を低減した配合とした配合 (No.37) は完全充填できなかった配合で, これ以外は完全充填できた配合である.

コンクリートがれきを用いた硬化体は, 混入物 (例えば, プラスチック, 木くず等) が弱部となって破壊することが懸念されたが, 写真-46 のコンクリートがれき圧縮試験供試体の載荷後断面に示すように, 混入物の影響はなく, 通常のコンクリートと同様の破壊形状であった.

表-22 材齢 7 日, 28 日における供試体の密度および圧縮強度

配合番号	骨材種類	水結合材比 (%)	S/A (%)	単位水量 (kg/m ³)	材齢 7 日		材齢 28 日			備考	
					見掛けの密度 (g/cm ³)	圧縮強度 (N/mm ²)	真密度 (g/cm ³)	見掛けの密度 (g/cm ³)	圧縮強度 (N/mm ²)		
No. 12	C50	100	27.8	135	2.18	5.26	—	2.19	11.8	-	
No. 13	C50	90	27.8	135	2.18	6.34	—	2.20	13.3		
No. 14	C50	80	27.8	135	2.18	8.21	—	2.21	16.5		
No. 16	B50	100	26.4	135	2.05	4.36	—	2.07	9.87		
No. 17	A50	100	30.0	135	2.22	4.90	—	2.25	9.91		
No. 18	A50	100	40.0	135	2.19	3.87	—	2.21	9.05		
No. 19	C50	60	50.0	180	2.12	12.1	—	2.15	22.1		
No. 20	C50	100	27.8	125	2.19	5.10	—	2.21	11.5		
No. 21	C50	100	24.0	125	2.15	4.62	—	2.21	10.8		
No. 22	C50	100	30.0	125	2.17	4.03	—	2.20	11.1		
No. 29	C50	110	36.7	165	測定なし		2.17	2.14	11.0		
No. 33	C50	100	36.7	158			2.18	2.12	11.7		
No. 35	C50	105	35.8	158			2.18	2.14	12.2		
No. 36	C50	105	35.8	158			2.12	1.98	7.62		PP繊維の購入
No. 37	C50	105	35.8	105			2.12	1.85	2.50		貧配合



写真-46 コンクリートがれき圧縮試験供試体の載荷後断面

ii) 水セメント比の影響

図-33 および図-34 にコンクリートがれきを使用したセメント硬化体の圧縮強度と水セメント比，セメント水比の関係を示す。なお，図は，完全充填できた配合について取りまとめたものである。

材齢 7 日，28 日のいずれも，水結合材比が大きくなるにしたがって，圧縮強度は小さくなる傾向が認められ，コンクリートがれきを用いた場合でも，通常のコンクリートと同様にセメント水比説が適用できるものと考えられる。また，同一水セメント比による圧縮強度のばらつきは，水セメント比が大きくなるにつれ，若干大きくなる傾向であった。

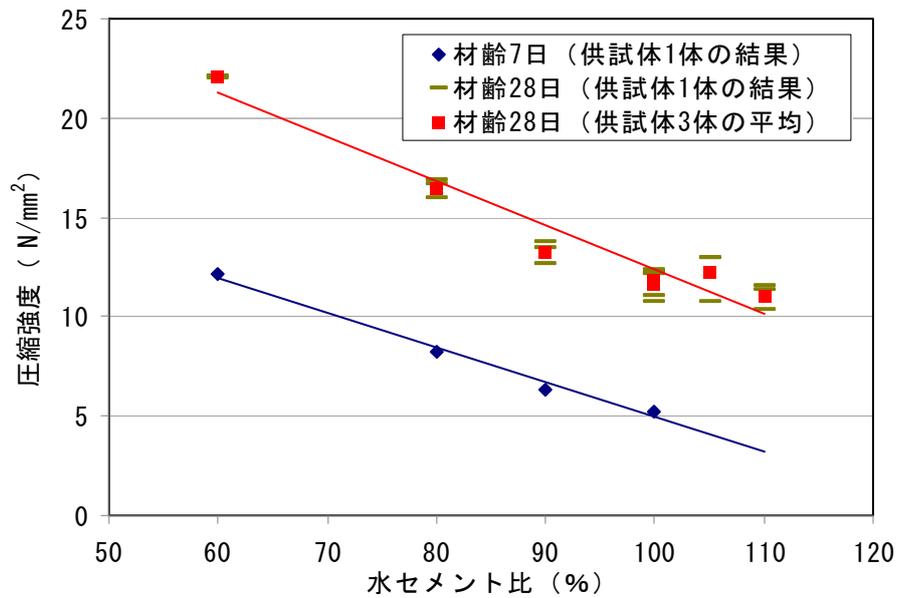


図-33 材齢 7 日および 28 日における供試体密度・圧縮強度

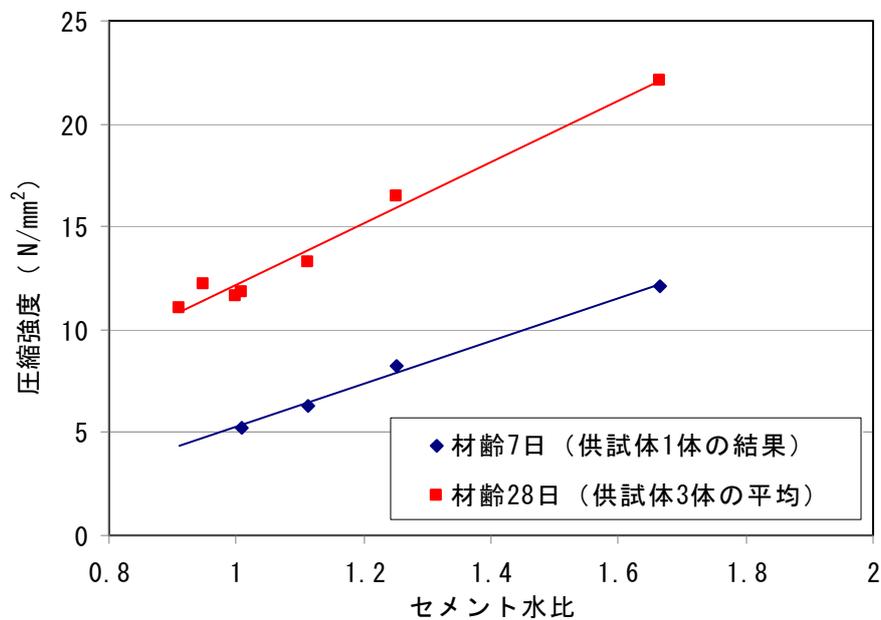


図-34 材齢 7 日および 28 日におけるセメント水比と圧縮強度の関係

iii) 充填率の影響

図-35 に水セメント比は 105%で充填率の異なる場合の圧縮強度の測定結果を示す。ここで示しているのは、完全充填できたセメント硬化体（充填率 98.6%）と、ポリプロピレン繊維を硬化体容積の 1% 混入したセメント硬化体（充填率 94.7%）、および粉体量を低減した配合としたセメント硬化体（充填率 89.1%）である。充填率が下がると圧縮強度や密度は低くなることが分かり、セメント硬化体表面には写真-47 に示すように空隙や空洞が認められた。また、完全充填できない配合の圧縮強度はセメント水比説が適用できないことも確かめられた。

図-36 には、供試体の見掛けの密度と材齢 28 日の圧縮強度の関係を示した。図は完全充填できたセメント硬化体の結果を取りまとめたものである。これより、見掛けの密度と圧縮強度の関係に明確な傾向は認められないが、供試体の見掛けの密度が $2.0\text{g}/\text{cm}^3$ 以上であれば、圧縮強度は約 $10\text{N}/\text{mm}^2$ 以上を確保していることが確かめられた。

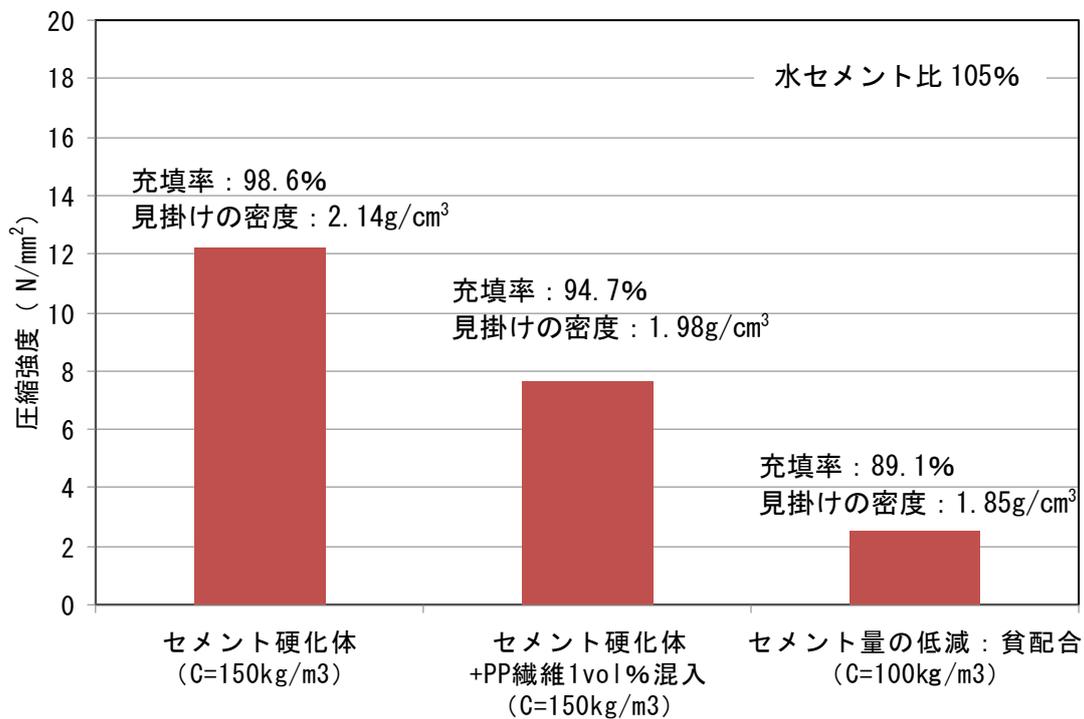


図-35 水セメント比 105% 供試体の圧縮強度

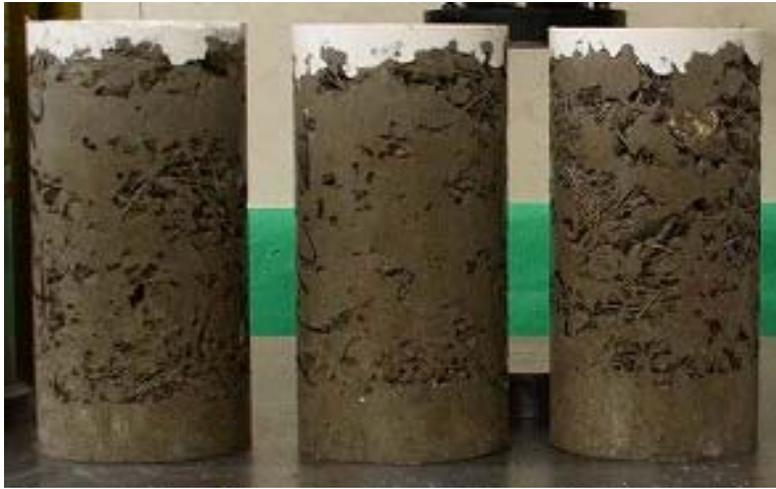


写真-47 PP 繊維混入供試体の外観

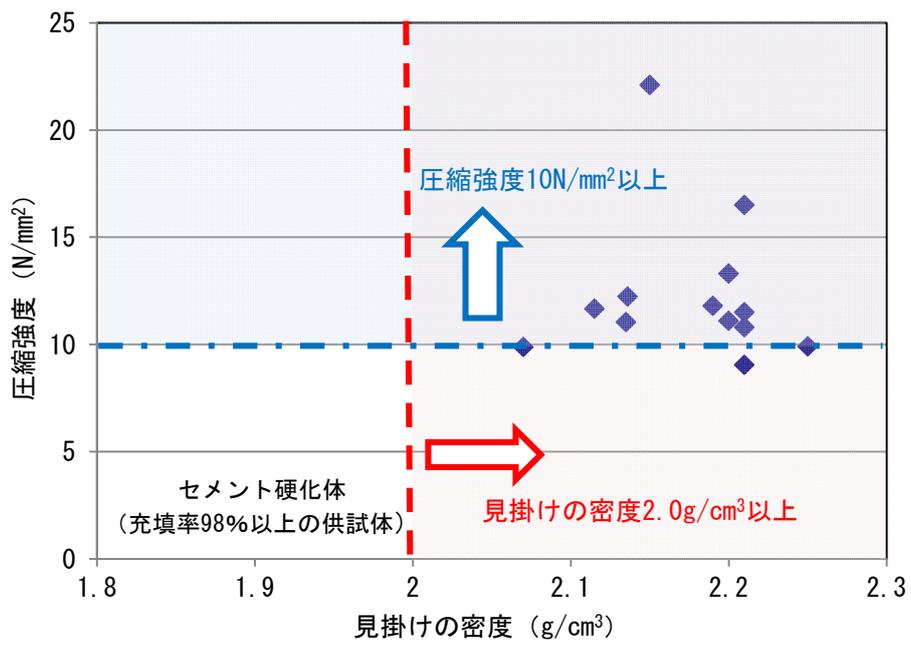


図-36 供試体の見掛けの密度と材齢 28 日の圧縮強度の関係

iv) コンクリートがれき種類の影響

図-37 にコンクリートがれきの種類と圧縮強度の関係を示す。この結果は、水セメント比 100%における単位水量 135kg/m³ (No.12, No.16, No.17) の結果について取りまとめたものである。材齢 7 日、材齢 28 日のいずれも、C50 (津波堆積物を含むコンクリートがれき) においては、圧縮強度が他の A50, B50 よりも 2N/mm² 程度大きくなる結果となった。これは、特に充填性の指標である α が異なっており、コンクリートがれき A50 で 1.52, B50 で 1.56 と適切と考えられる範囲よりも大きく、写真-48 に示すように、単位ペースト量が過多であったことが影響している可能性があると考えられる。その一方で、C50 は、 α が 1.25 と適切な範囲内にあったことで圧縮強度が高かったと考えられる。

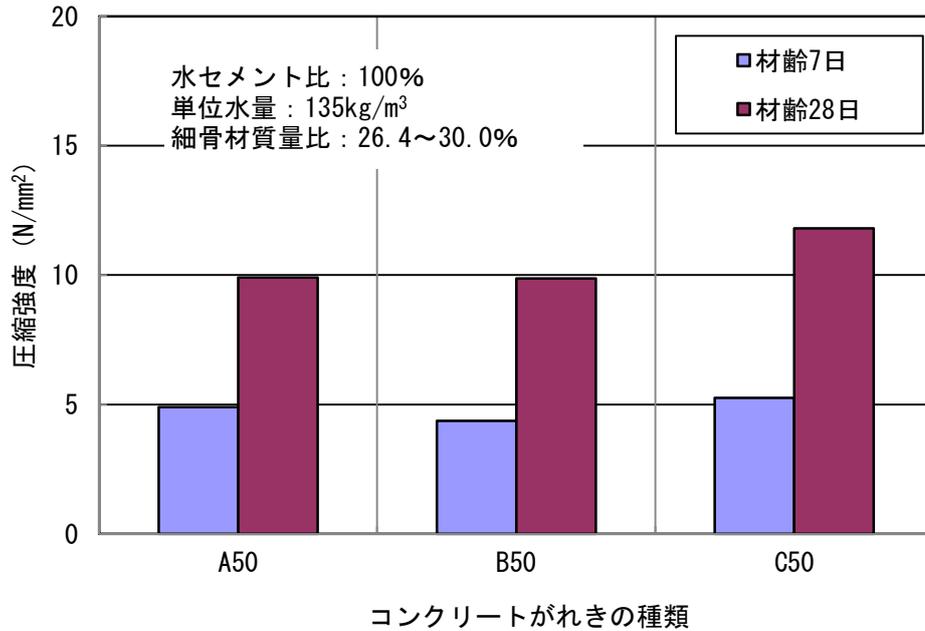


図-37 コンクリートがれきの種類と圧縮強度の関係



コンクリートがれき A50
 $\alpha : 1.52, \beta : 1.44$



コンクリートがれき B50
 $\alpha : 1.56, \beta : 1.32$



コンクリートがれき C50
 $\alpha : 1.25, \beta : 1.36$

写真-48 コンクリートがれき供試体の締固め性状 (図 8.1.3-4 と対応)

2) 曲げ強度

曲げ強度は水セメント比 105%の充填性を確保した配合の供試体とその配合にポリプロピレン繊維をセメント硬化体容積の 1%を混入した供試体について検討した。なお、供試体は材齢 7 日までは封緘養生、材齢 7 日から材齢 28 日までは水中養生とし、材齢 28 日時点で試験に供した。また、曲げ強度試験用供試体は□150×150×530mm の角柱供試体である。

図-38 に材齢 28 日の曲げ強度を示す。ポリプロピレン繊維を混入した場合、曲げ強度はかえって小さくなる結果を示した。この要因としては 2 つのことが挙げられる。まず、表-22 に示すように、ポリプロピレン繊維を用いたセメント硬化体の見掛けの密度が明らかに小さいこと、次に、繊維の長さが 48mm であり、ウェットスクリーニング後のコンクリートがれきの最大寸法 (40mm) と同等であったことが考えられる。また、完全充填できたセメント硬化体において、供試体 1 体のみ曲げ強度が大きくなり、特異なデータと判断した。これは、写真-49 に示すように、試験時の硬化体の引張側に木片が混入されていたためである。このように、今回の実験では木片が供試体長辺方向に混入されていたが、短辺方向に混入された場合には、その部分が弱部となり曲げ強度が低下する可能性があることも考えられた。

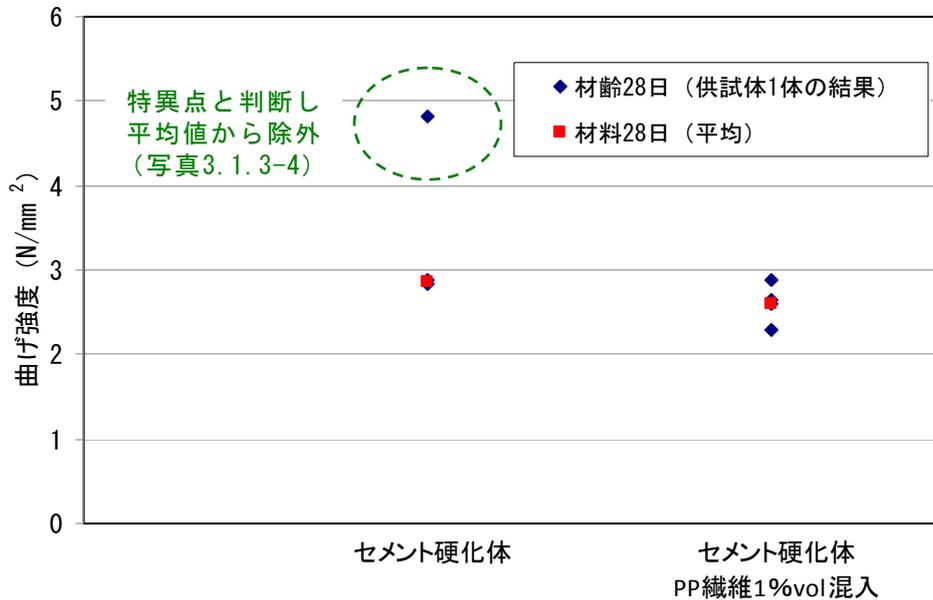


図-38 材齢 28 日の曲げ強度



写真-49 特異点と判断したセメント硬化体の曲げ試験後の断面

写真-50 および写真-51 に完全充填供試体と、ポリプロピレン繊維 1vol%混入供試体の曲げ試験後の破断面の状況を示す。ポリプロピレン繊維はダマになっておらず、一様に分散しているような状況であった。



写真-50 セメント硬化体 (C=150kg/m³) の曲げ試験後の破断面



写真-51 PP 繊維 1vol%混入 (C=150kg/m³) の曲げ試験後の破断面

3) 強度試験のまとめ

コンクリートがれきを用いたセメント硬化体の強度特性を明らかにすることを目的として、圧縮強度試験および曲げ強度試験を実施した。以下に得られた結果を示す。

- ・コンクリートがれきを用いたセメント硬化体の破壊状況としては、混入物が弱部となって破壊することではなく、通常のコンクリートと同様の破壊形状である。
- ・充填性を確保できる配合では、水結合材比が大きくなるにしたがって、圧縮強度は低くなる傾向が認められることから、通常のコンクリートと同様にセメント水説が適用できると考えられる。
- ・単位セメント量を低減させた配合の場合では、完全充填のセメント硬化体より圧縮強度が低くなり、セメント水説は適用できない。このような完全充填できない配合の供試体製作は、テーブル加振による締固めエネルギーを与えるのは適切ではなく、タンパなどの衝撃エネルギーを与えることで充填率を高める必要があると考えられた。
- ・今回の実験では、セメント硬化体にポリプロピレン繊維を混入した場合において、曲げ強度は 2.61N/mm^2 と舗装コンクリートに必要な 4.5N/mm^2 を下回る結果であった。これは、繊維混入により充填率が小さくなったことや、実験に用いたポリプロピレン繊維の長さが、供試体製作におけるウエットスクリーニング後のコンクリートがれきの最大寸法と同等程度であったことが要因であると考えられた。

(4) コンクリートがれきの物性確認実験のまとめ

コンクリートがれきの材料特性、コンクリートがれきを用いたセメント混合物の練混ぜ性状、およびセメント硬化体の強度特性を明らかにする目的で室内において実験的検討を行った。以下に得られた結論を示す。

i) 材料特性

・コンクリートがれき破碎後の粒度は、破碎機の刃間隔を 50mm と小さくすることで、いずれの種類のがれきも砂防ソイルセメントガイドラインにある既往実績の範囲内に入った。また、画像解析技術を用いて推定した粒度分布は、設定値の±3%程度の範囲内に入ることが確かめられた。

・コンクリートがれきの物性値は、通常のコンクリート用骨材と異なり、微粒分を多く含んでいるため吸水率も大きい。したがって、練混ぜ時の含水率も高くなることが確かめられた。また、軽量ブロックを含むコンクリートがれきの密度・吸水率は他のものに比べて、密度は小さく、吸水率は大きくなり、軽量ブロックの混入が材料特性に影響を及ぼすことも確認された。

ii) 練混ぜ性状

・コンクリートがれきを用いて、完全充填（充填率 98%以上）できる超硬練り配合が選定できることが確かめられた。このとき、完全充填できる合の α （粒径 5mm 以下の細骨材相当のがれきの実積率から求まる間隙体積と、それを充填するセメントペースト体積の比率）、 β （粒径 5mm を超える粗骨材相当のがれきの実積率から求まる間隙の体積と、それを充填するモルタル体積の比率）の値は、それぞれ 1.0～1.4、1.3～1.7 であった。ただし、 α および β の値がこの範囲にあるにも拘らず、完全充填できない配合も見られた。これは、S/A が影響していると考えられた。

・コンクリートがれきの全質量に対する粒径 5mm 以下のがれきの質量率（S/A）の如何に拘らず、単位ペースト量が多くなるにしたがって、充填率が高くなることが確認できた。また、S/A によって、完全充填できるための単位ペースト量が存在することから、実測の S/A に基づいて、必要最小単位ペースト量が定められると考えられた。

・練混ぜ試験時にスランプ試験、締固め性試験を実施し、表面に空隙が多く存在したり、表面に水の多い状況の場合は、単位ペースト量が適切でないと考えられるため、単位水量や単位セメント量の調整を行い、より適切な配合を選定する。

・混和剤を使用した場合、完全充填時の締固めエネルギーは小さくなり、練上がりの硬化体の性状も適切であったことから、夏季など外気温が上昇する場合には、混和剤の使用も可能であることが確かめられた。

iii) 強度特性

・完全充填できる配合では、通常のコンクリートと同様にセメント水比説が適用でき、要求される強度レベルから水セメント比を選定することが可能である。

・単位セメント量を低減させた配合の場合など、完全充填できない配合では、完全充填のセメント硬化体より圧縮強度が小さくなり、セメント水比説が適用できない。したがって、このような完全充填できない配合では、テーブル加振による締固めエネルギーで適切に評価できないため、タンパなどの衝撃エネルギーを与えることで充填率を高めて評価する必要があると考えられる。

7.3.2. 実施工を模擬した実験の結果

(1) 実機ミキサによる練混ぜ試験結果

1) 実機実験概要

i) 試験ヤード整地

写真-52, 写真-53 に整地前後の試験ヤードの状況を示す。試験ヤードの地盤は砂質地盤であったため、コンクリートがれきと津波堆積物を敷き均し、転圧を行って試験ヤードとした。また、図-39 に試験ヤードの割付けを示す。試験は4ケース行うこととしたため、試験ヤードを4つの区画に区切って設定した。



写真-52 試験ヤード整地前



写真-53 試験ヤード整地後

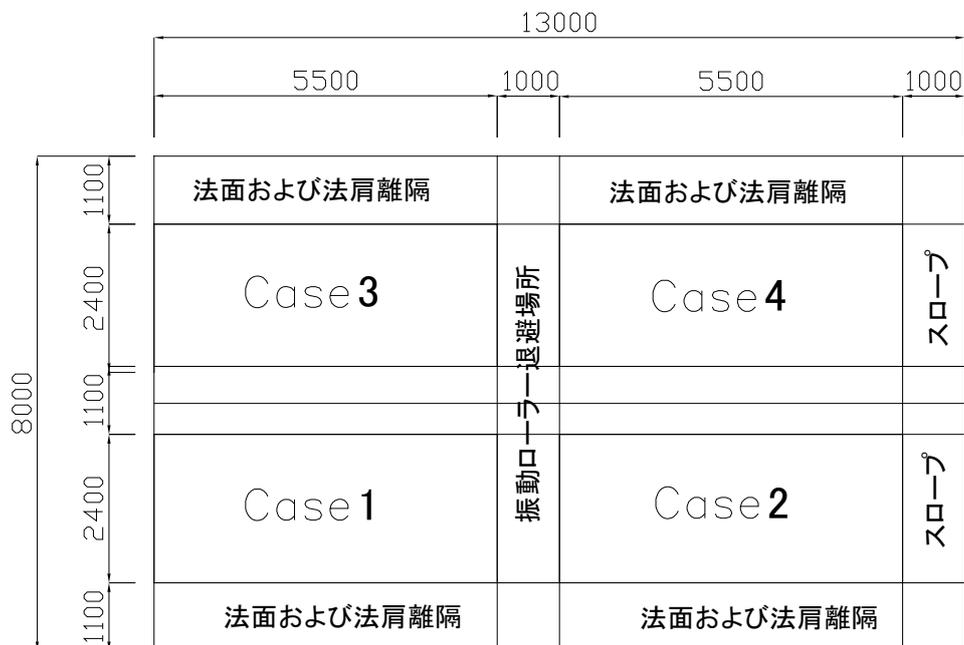


図-39 試験ヤード割付図

ii) 実機実験の手順

図-40 に実施工を模擬した実験の実施手順を、図-41 に施工断面を示す。また、写真-54～写真 8. 2. 1-14 に手順ごとの施工状況を示す。

ミキサキャリブレーションは、材料ごとにミキサからの排出速度と排出量の関係を得て行った。コンクリートがれきは 1m^3 バケツで計りとして、セメントは 20kg を、水は 100L をそれぞれミキサから排出させてキャリブレーションを行った。その後、実機ミキサによる練混ぜ、 4t ダンプトラックによる撒出し、 3t 級ブルドーザによる敷均し、および 3t 級振動ローラーによる転圧を行った。また、転圧時には沈下量計測を、転圧完了時には RI 測定法（放射線測定法）による現地密度の推定を行った。

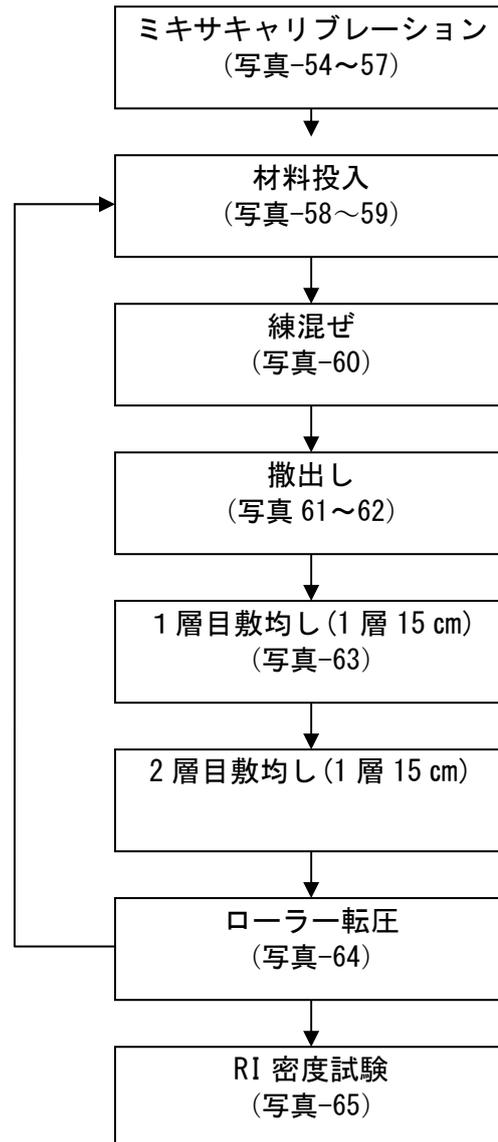


図-40 施工手順フロー図

ローラー転圧	2リフト 4層目	150	300
ローラー転圧	2リフト 3層目	150	
	1リフト 2層目	150	300
	1リフト 1層目	150	

図-41 層厚断面図



写真-54 ミキサ全景



写真-55 キャリブレーション状況 (母材)



写真-56 キャリブレーション状況 (セメント)



写真-57 キャリブレーション状況 (水)



写真-58 材料投入（骨材）



写真-59 材料投入（セメント）



写真-60 混合機内部 2軸パドルミキサ



写真-61 排出状況



写真-62 ダンプアップ後セメント混合物



写真-63 ブルドーザ敷均し状況



写真-64 振動ローラー転圧状況



写真-65 RI 密度試験計測状況

iii) 転圧方法

図-42、図-43 に実機実験供試体の断面図および縦断面図を示す。図-42 に示すように、振動ローラーの軌跡は中央部で 380mm 程度ラップさせ、法肩より 500mm 程度の離隔を確保した。また、振動ローラーの走行速度は 1km/h を標準とした。さらに、図-43 に示すように、振動ローラーの退避場所、振動の切り替え場所は予め定め、指定した場所以外で停車しないようにした。コア採取や RI 試験などは、振動ローラーが重複した箇所や退避場所を避けて行った。

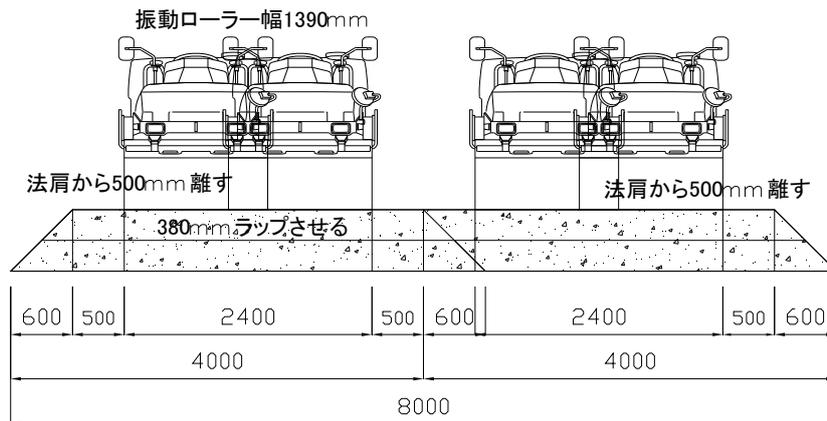


図-42 断面図

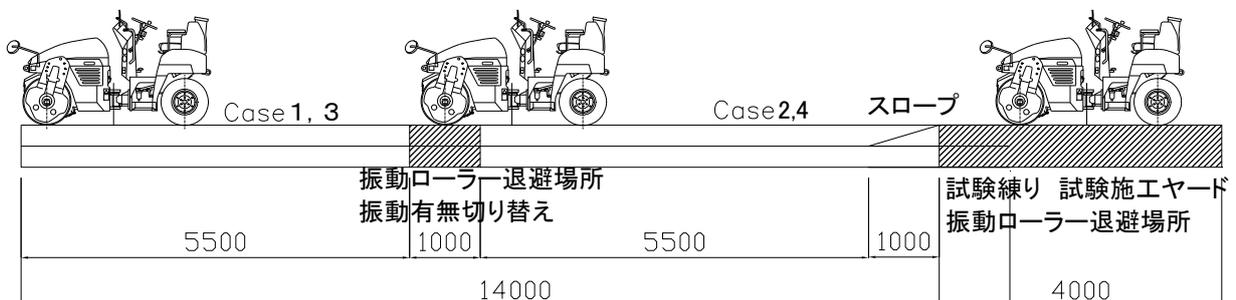


図-43 縦断面図

iv) 試験ケース

表-23 に試験ケースを示す。試験ケースは、配合を2種類とし、転圧回数を合計8回、10回の2種類の合計4ケースとした。

表-23 試験ケース

Case No.	配合	転圧回数 (回)		
		無振動	有振動	合計
1	配合 2 単位セメント量 100kg/m ³	2	6	8
2		2	8	10
3	配合 1 単位セメント量 150kg/m ³	2	6	8
4		2	8	10

v) 試験項目

表-24 に実機実験における測定項目を示す。

表-24 実機実験における試験項目

測定時期	評価項目	測定方法	測定頻度
練混ぜ時	スランプ試験	JIS A 1101	1回/1リフト
	締固め性試験	JSCE-F 508	1回/1リフト
転圧時	沈下量	レベル測量	1回(6点)/往復
	現地密度試験 (RI)	ガンマ線透過型	3カ所×4回/Case
硬化時	コア密度	供試体寸法, 供試体重量の計測	全供試体
	コア圧縮強度	・(φ150×300, φ250×500) 材齢31日に圧縮強度試験を実施	3本/Case を基本とする
	圧縮強度	・振動締固めによる供試体(φ150×300) 材齢31日に圧縮強度試験を実施	3本/配合

2) 練混ぜ性状・締固め性状

表-25 に実機実験に用いた完全充填配合（以下、配合①と称す）および単位セメント量を低減させた配合（以下、配合②と称す）の練混ぜ性状，締固め性状の結果を示す．なお，表には，同配合を小型ミキサにて行った室内練混ぜ試験の結果も併せて示した．

完全充填の配合，および単位セメント量を低減させた完全充填できない配合のいずれも，小型ミキサによる室内練混ぜ試験結果と同様にスランプは 0cm であった．しかし，転圧実験で使用した単位セメント量 150kg/m³ の場合においては，写真-66 に示すように，スランプが同じ 0cm であっても練混ぜ性状は異なり，やや水の足りない状態であった．これは，コンクリートがれきの含水状態が影響したと思われる，実際の施工時には，RI 法などでコンクリートがれきの含水率を連続的にモニタリングし，その含水状態に応じた表面水の補正を行う必要があると考えられる．

表-25 配合および練混ぜ性状，締固め性状の結果

	配合内容	W/C (%)	S/A (%)	単位量 (kg/m ³)				α	β	練混ぜ性状		締固め性状		
				水	高炉セメント B種	コンクリートがれき				スランプ (cm)	硬化体温度 (°C)	初期充填率 (%)	締固めエネルギー (J/L)	E98に到達しない配合の加振3分時の充填率
						5mm以上	5mm以下がれき							
配合①	小型ミキサによる室内練混ぜ試験結果	105	35.8	158	150	1169	678	1.17	1.64	0	19	82	33	—
	大型ミキサによる転圧試験時の練混ぜ結果	105	35.1	158	150	1200	648	1.23	1.56	0	21	75.1	98%以上に到達せず	97.19
配合②	小型ミキサによる室内練混ぜ試験結果	105	35.8	105	100	1292	720	0.74	1.33	0	20	72.6	98%以上に到達せず	81.12
	大型ミキサによる転圧試験時の練混ぜ結果	105	35.6	105	100	1295	716	0.74	1.33	0	21	72.2	98%以上に到達せず	78.75



小型ミキサによる室内練混ぜ
試験時の性状
E98 : 33J/L



大型ミキサによる転圧実験時の性状
充填率 98%に到達せず
締固め性試験 3 分後の充填率 : 97.19%

水セメント比 : 105%, 単位セメント量 : 150kg/m³



小型ミキサによる室内練混ぜ
試験時の性状 : 充填率 98%に到達せず
締固め性試験 3 分後の充填率 : 81.12%



大型ミキサによる転圧実験時の性状
充填率 98%に到達せず
締固め性試験 3 分後の充填率 : 78.75%

水セメント比 : 105%, 単位セメント量 : 100kg/m³

写真-66 加振締固め性状 (締固め性試験後)

(2) 転圧実験結果

1) 沈下量

図-44 に沈下量の計測位置を示す。転圧開始前から振動ローラーによる転圧 1 往復ごとにレベルを測量し、沈下量の変化を把握した。計測位置は転圧直前にマーキングし、毎回同一の位置となるようにした。

表-26 に沈下量の平均値を、図-45、図-46 に 1 リフト、2 リフトそれぞれの沈下量を示す。1 リフトの Case3、2 リフトの Case1 が、他の Case と比較して沈下量大きい。これは、試験ヤードの現地盤が砂質地盤であった影響を受けたと思われる。また、1 リフトより 2 リフトの沈下量が比較的安定しているのは、1 リフトが砂質地盤の影響を受けたためと思われる。

2 リフト Case4 の転圧 8 回と 10 回の沈下量を比較すると、転圧 8 回で沈下はほぼ収束しているが、Case2 では 10 回目でも沈下が収束していない。これは、配合 2 (単位セメント量 100kg/m³) の練上がり時の間隙が多いため、今回使用した振動ローラーの能力では、収束までさらに転圧が必要であったと考えられる。一方、配合 1 (単位セメント量 150kg/m³) のように完全充填できる配合では、転圧回数 8 回で沈下量が収束したものと考えられる。

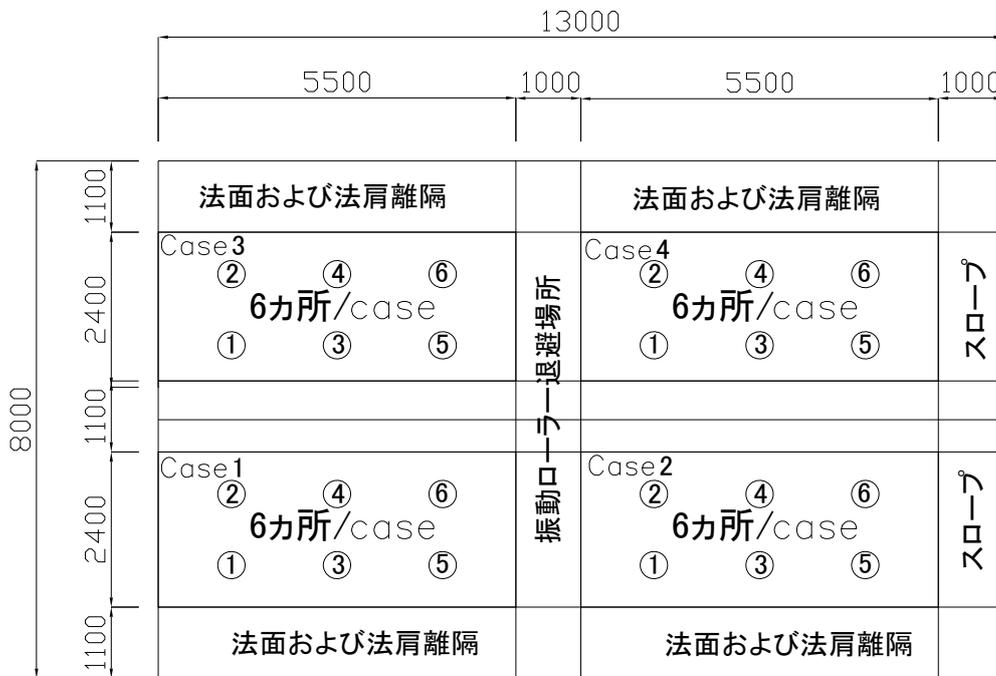


図-44 沈下量測定位置平面図

表-26 沈下量の平均値

単位：mm

リフト	Case No.	配合 (単位セメント量)	初期	2回	4回	6回	8回	10回
1 リフト	1	配合 2 (100kg/m ³)	0	0	6	8	11	-
	2		0	1	4	4	5	6
	3	配合 1 (150kg/m ³)	0	5	10	14	17	-
	4		0	4	4	6	8	9
2 リフト	1	配合 2 (100kg/m ³)	0	7	14	19	22	-
	2		0	4	8	11	14	15
	3	配合 1 (150kg/m ³)	0	2	7	10	11	-
	4		0	3	6	9	11	11

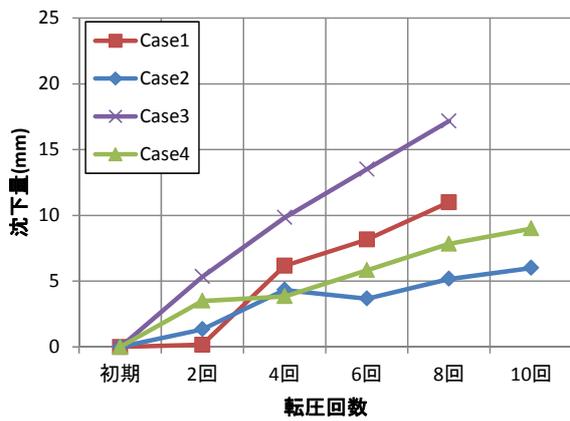


図-45 1 リフト沈下量

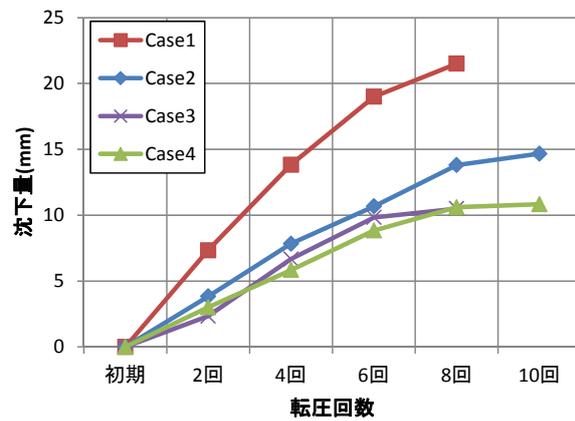


図-46 2 リフト沈下量

2) 現地密度試験 (RI 密度試験)

図-47 に現地密度の計測位置を示す。現地密度は RI (放射線) 測定装置により、測定 1 カ所につき試験機を 90° ごとに回転して 4 回行った。また、1 ケースにつき 3 カ所で測定した。

表-27 に RI 推定密度と配合密度の比較を示す。配合が同じ Case1 と Case2, Case3 と Case4 の RI 推定密度を比較すると、それぞれ同程度であることから、転圧回数 8 回と 10 回の違いが密度に及ぼす影響は小さいことがわかる。また、RI 推定密度と配合密度の比は、配合 2 (単位セメント量 100kg/m³) の 0.92, 0.91 に対し、配合 1 (単位セメント量 150kg/m³) では 1.01, 1.01 と 1.0 に達しており、配合上の密度が現地密度でも得られた。これは前述のとおり、今回使用した振動ローラーの能力では、配合 2 では締固めが不十分であったのに対し、配合 1 では十分な締固めが行えたためと考えられる。

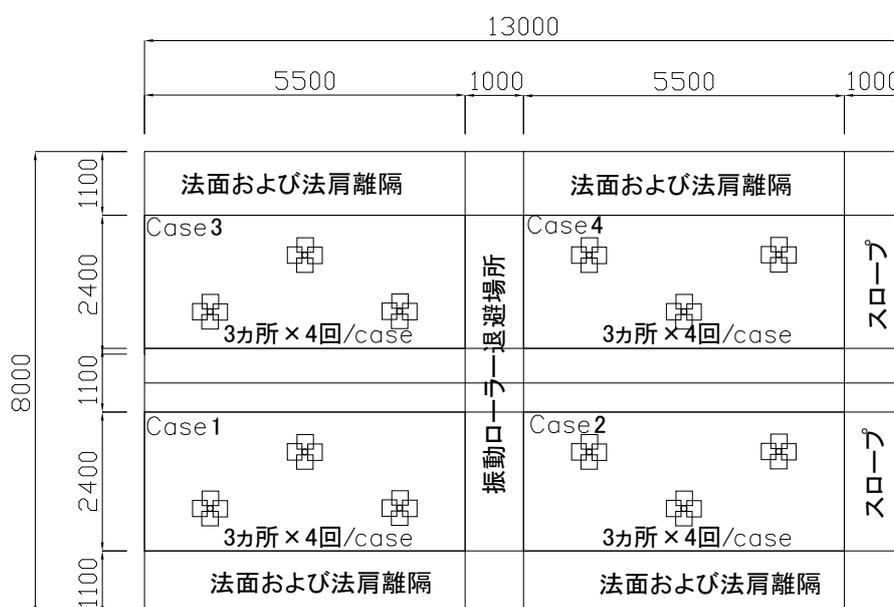


図-47 現地密度計測位置 平面図

表-27 RI 推定密度と配合密度の比較

Case No.	配合 (単位セメント量)	RI 推定密度 (t/m ³)	配合密度 (t/m ³)	RI/配合比
Case1	配合 2 (100kg/m ³)	2.041	2.216	0.92
Case2		2.017		0.91
Case3	配合 1 (150kg/m ³)	2.167	2.156	1.01
Case4		2.170		1.01

(3) コア強度試験

1) コア採取

写真-67 にコアの採取状況を，図-48 にコア採取位置を示す．コア採取は，実機実験後の材齢 21～24 日で行った．

表-28，表-29 に採取したコアの長さ，直径，および JIS A 1107 「コンクリートからのコア採取方法及び圧縮強度試験方法」に示されている圧縮強度の補正係数を示す．また，写真-68～写真-73 に採取したコアのうち代表的なものを，写真-74，写真-75 に実機試験時に採取した加振締固め供試体の外観を示す．単位セメント量が 100kg/m^3 と少ない配合 2 のコアは，途中で折れるなどして圧縮強度試験に必要な長さを得られないものがあつた．また，コアの表面には木くずなどが観察された．



写真-67 コア採取状況

Case 3		Case 4	
Case 1		Case 2	

凡例
 : $\phi 250$
 : $\phi 150$

図-48 コア採取位置 平面図

表-28 $\phi 150$ コアの寸法と圧縮強度の補正係数

試験体名	高さ (mm)		直径 (mm) d	高さ 直径比 h'/d	JIS A 1107 補正 係数
	カット前 h	カット後 h'			
C1-1	350	304.1	150.0	2.03	1.00
C1-2	290	278.8	149.9	1.86	0.99
C1-3	190	175.9	149.9	1.17	0.91
C1-4A	100	-	-	-	-
C1-4B	120	-	-	-	-
C1-5	50	-	-	-	-
C1-6A	150	163.4	150.2	1.09	0.89
C1-6B	250	201.9	149.9	1.35	0.94
C2-1	50	-	-	-	-
C2-2A	100	-	-	-	-
C2-2B	120	-	-	-	-
C2-2C	150	-	-	-	-
C2-3	440	300.7	149.9	2.01	1.00
C2-4	330	302.9	149.9	2.02	1.00
C2-5	300	249.1	149.9	1.66	0.97
C3-1A	380	299.9	149.6	2.00	1.00
C3-1B	180	164.6	149.6	1.10	0.89
C3-2A	380	302.1	149.9	2.02	1.00
C3-2B	200	171.9	149.8	1.15	0.91
C3-3A	290	299.7	149.8	2.00	1.00
C3-3B	260	249	149.8	1.66	0.97
C4-1A	270	247.9	149.9	1.65	0.97
C4-1B	320	300.8	149.8	2.01	1.00
C4-2	300	300.8	149.9	2.01	1.00
C4-3A	150	159	149.9	1.06	0.88
C4-3B	400	302.7	149.9	2.02	1.00

表-29 φ250 コアの大きさと圧縮強度の補正係数

試験体名	高さ (mm)		直径 (mm) d	高さ 直径比 h'/d	JIS A 1107 補正 係数
	カット前 h	カット後 h' (mm)			
C1-1	170	-	-	-	-
C1-2A	240	268.8	244.5	1.10	0.89
C1-2B	320	299.0	245.3	1.22	0.92
C2-1A	100	-	-	-	-
C2-1B	300	265.9	246.2	1.08	0.89
C2-2	130	-	-	-	-
C2-3	320	300.3	245.6	1.22	0.92
C3-1	300	260.8	246.8	1.06	0.88
C3-2A	300	259.4	247.5	1.05	0.88
C3-2B	270	279.3	246.1	1.13	0.90
C4-1A	250	277.5	247	1.12	0.90
C4-1B	250	267.1	247.1	1.08	0.89
C4-2A	300	292.0	247.7	1.18	0.91

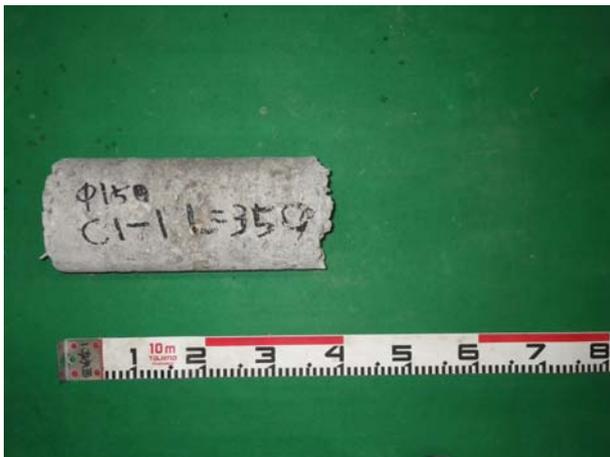


写真-68 C1-1 全景



写真-69 C1-1 拡大



写真-70 C2-3 全景



写真-71 C2-3 拡大



写真-72 C3-1 全景



写真-73 C3-1 拡大



写真-74 C4-1 全景



写真-75 C4-1 拡大



写真-76 Case1, 2 配合 2 振動締固め供試体



写真-77 Case3, 4 配合 1 振動締固め供試体

2) コア圧縮強度

採取したコアは端部をカットし、両端を石膏でキャッピングして、材齢 31 日で圧縮強度を測定した。コアの長さが直径の 2 倍に満たない試験体は JIS A 1107「コンクリートからのコア採取方法及び圧縮強度試験方法」にしたがって圧縮強度の測定値を補正した。

表-30, 表-31, および図-49 にコアと加振締固め供試体の圧縮強度を示す。図-49 には、供試体の高さの影響を補正した後の圧縮強度の平均値と、その範囲を示している。ただし、表-31 内の赤色網掛け、図-49 中の×印で示した測定データは、他の供試体より著しく強度が大きいため、平均値の算定からは除外した。

コアの直径が 150 mm と 250mm の供試体を比較すると、圧縮強度は直径 250mm に比べ、直径 150mm の方がやや小さくなる傾向が見られる。このことから、最大骨材寸法の 3 倍以上の直径（本実験では 240mm 以上）で圧縮強度を測定することを正とすれば、直径 150mm のコアで圧縮強度を測定した場合は、やや安全側の評価になると考えられる。

次に、転圧回数とコア圧縮強度の関係を比較すると、配合 2 (単位セメント量 100kg/m^3) の直径 250mm のコアの結果によれば、転圧回数 10 回の Case2 (圧縮強度 5.3N/mm^2) に比べ、転圧回数 8 回の Case1 (圧縮強度 3.6N/mm^2) での圧縮強度が低い。このことから、完全充填できない配合 2 では、転圧による締固めの効果が転圧回数 8 回では不十分で、10 回でも不十分であった可能性が考えられる。一方、配合 1 (単位セメント量 150kg/m^3) の直径 250mm のコアの結果によれば、転圧回数 10 回の Case4 (圧縮強度 8.3N/mm^2) と、転圧回数 8 回の Case3 (圧縮強度 8.4N/mm^2) の圧縮強度は同じである。このことから、完全充填できる配合 1 では、転圧回数 8 回で十分な締固め効果が得られたと思われる。

さらに、コア供試体と加振締固め供試体の圧縮強度を比較すると、配合 2 (単位セメント量 100kg/m^3) の Case2 (転圧回数 10 回) では、コア直径 250mm で 5.3N/mm^2 、コア直径 150mm で 4.1N/mm^2 に対し、加振締固め供試体では 2.3N/mm^2 と低く、完全充填できない配合では、転圧締固めと加振締固めの締固め効果の違いが見られた。一方、配合 1 (単位セメント量 150kg/m^3) の Case4 (転圧回数 10 回) では、コア直径 250mm で 8.3N/mm^2 、コア直径 150mm で 6.8N/mm^2 に対し、加振締固め供試体では 8.1N/mm^2 とほぼ同程度であり、完全充填できる配合では、転圧締固めによっても、加振締固めと同程度の締固め効果が得られたと思われる。

表-30 コアおよび室内試験圧縮強度 (Case1, 2)

供試体 コア	配合	供試体直径 (mm)	供試体高さ (mm)	圧縮強度 (高さ補正 後) (N/mm ²)	平均圧縮強度 (高さ補正後) (N/mm ²)
加振締固め 供試体	配合 2 単位セメント量 100kg/m ³	150	300.0	2.2	2.3
			298.0	2.5	
			299.0	2.1	
Case1 コア		150	304.1	3.1	4.2
			278.8	3.7	
			175.9	5.1	
			163.4	4.8	
			201.9	4.2	
			268.8	3.7	
Case2 コア		250	299.0	3.6	3.6
			300.7	4.1	
			302.9	5.3	
	249.1		2.9		
	265.9		6.1		
	300.3		4.5		

表-31 コアおよび室内試験圧縮強度 (Case3, 4)

供試体 コア	配合	供試体直径 (mm)	供試体高さ (mm)	圧縮強度 (高さ補正後) (N/mm ²)	平均圧縮強度 (高さ補正 後) (N/mm ²)
加振締固め 供試体	配合 1 単位セメント 量 150kg/m ³	150	302.0	8.4	8.1
			303.0	7.3	
			301.0	8.6	
Case3 コア		150	299.9	6.7	7.8
			164.6	9.5	
			302.1	6.1	
			171.9	13.9	
			299.7	8.4	
			249.0	8.1	
Case4 コア		250	260.8	6.6	8.4
			259.4	8.4	
			279.3	10.1	
	247.9		5.7		
	300.8		12.0		
	300.8		6.9		
Case4 コア	150	159.0	6.9	6.8	
		302.7	7.9		
		277.5	9.4		
		267.1	12.8		
Case4 コア	250	292.0	7.3	8.3	

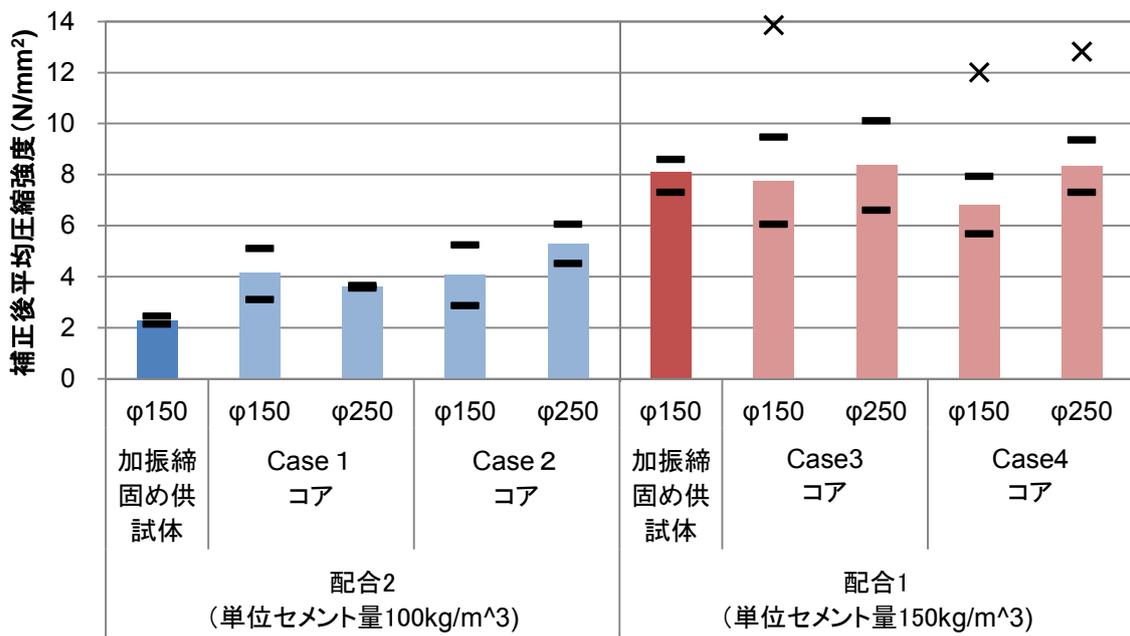


図-49 コアおよび室内試験圧縮強度

3) コア密度

表-32, 表-33, 図-50, 図-51 にコア密度と加振締固め密度の測定結果を示す。また, 表-34 に直径 150mm のコア密度, 加振締固め密度と配合密度の比率を示す。ここでは, コア供試体と加振締固め供試体について, 質量と試験体寸法を計測して求めた見掛けの密度と, 水中重量を計測して求めた真密度を記載している。なお, 直径 250mm のコア供試体では, 水中重量を精度よく測定できなかつたため, 真密度は得られていない。

図-50, 表-34 によれば見掛けの密度について, 単位セメント量 100kg/m^3 の完全充填できない配合 2 では, コア直径や転圧回数による違いは見られないが, 締固め方法の違いによる影響は見られ, 転圧コア密度に比べて, 加振締固め供試体密度の方が小さくなることがわかった。一方, 単位セメント量 150kg/m^3 の完全充填できる配合 1 では, コア直径や転圧回数, 締固め方法の違いによる影響は見られず, 加振締固め性試験によって転圧締固めの効果を評価できることがわかった。

図-51, 表-34 によれば真密度について, 配合 2 と配合 1 の締固め充填性が異なるのにもかかわらず, それぞれの配合における転圧コア密度と加振締固め密度に違いは見られない。真密度は水中重量から算出されるが, 見掛けの密度が小さい配合 2 の加振締固め供試体のような場合では, 供試体内部の隙間に水が入った状態での重量が測定されるため, 隙間を除外した実体積が得られ, これで質量を除すためである。このことから, 転圧コア供試体の密度を評価する場合には, 供試体質量をコア外寸法から求まる体積で除した見掛けの密度で評価する方が, 転圧締固めの効果を適切に評価できると考えられる。

表-32 コア密度と加振締固め密度の測定結果 (Case1, 2)

供試体 コア	配合	供試体 直径 (mm)	見掛けの 密度 (t/m^3)	見掛けの 密度平均 (t/m^3)	真密度 (t/m^3)	真密度 平均 (t/m^3)		
加振締固め 供試体	配合 2 単位セメント 量 100kg/m^3	150	1.782	1.783	2.114	2.116		
			1.798		2.112			
			1.770		2.120			
Case 1 コア		150	2.062	2.086	2.085	2.114		
			2.082		2.114			
			2.115		2.144			
			2.102		2.113			
			2.071		2.113			
			2.020		-			
250		1.993	2.006	-	-			
Case 2 コア		150	2.077	2.076	2.080	2.081		
	2.083		2.083					
	2.067		2.081					
	2.059		-					
	250		2.084		2.072		-	-

表-33 コア密度と加振締固め密度の測定結果 (Case3, 4)

供試体 コア	配合	供試体 直径 (mm)	見掛けの 密度 (t/m ³)	見掛けの 密度平均 (t/m ³)	真密度 (t/m ³)	真密度 平均 (t/m ³)	
加振締固め 供試体	配合 1 単位セメント量 150kg/m ³	150	2.134	2.137	2.193	2.194	
			2.138		2.194		
			2.138		2.194		
Case3 コア		150	2.158	2.132	2.158	2.138	2.162
				2.160		2.164	
				2.151		2.141	
				2.180		2.185	
				2.103		2.115	
				2.221		2.230	
Case4 コア		250	2.073	2.091	2.073	-	-
				2.022		-	
				2.108		-	
Case4 コア	150	2.168	2.163	2.168	2.162	2.170	
			2.210		2.195		
			2.149		2.158		
			2.143		2.158		
			2.178		2.179		
	250	2.052	2.001	2.052	-	-	
			2.089		-		
			2.066		-		

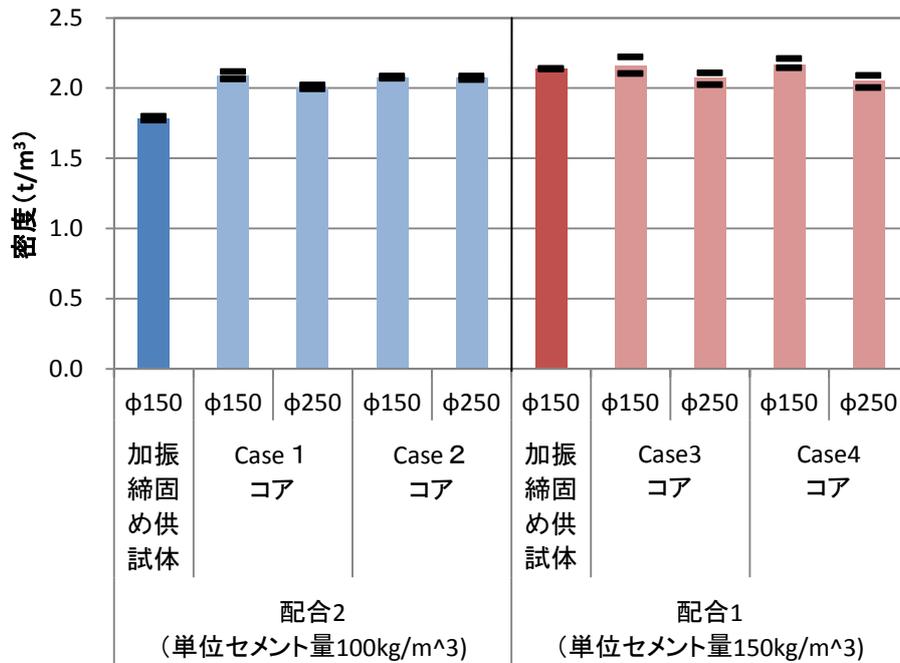


図-50 コア密度と加振締固め密度 (見掛けの密度)

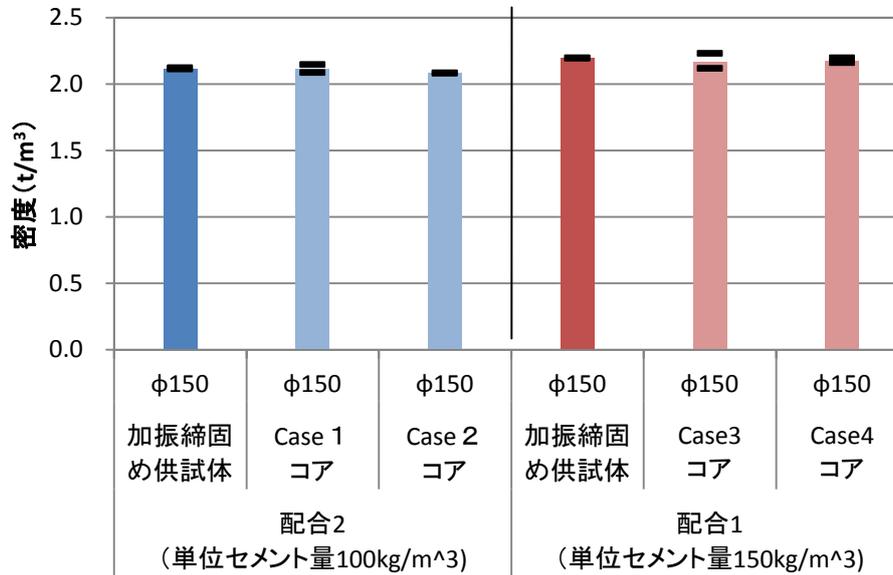


図-51 コア密度と加振締め密度（真密度）

表-34 直径 150mm のコア密度，加振締め密度と配合密度の比率

Case No.	配合	コア密度/配合密度		加振締め密度/配合密度	
		見掛けの密度	真密度	見掛けの密度	真密度
Case1	配合 2 単位セメント 量 100kg/m³	0.941	0.954	0.805	0.955
Case2		0.937	0.939		
Case3	配合 1 単位セメント 量 150kg/m³	1.001	1.003	0.991	1.018
Case4		1.006	1.007		

4) 密度と強度の相関

図-52, 図-53 にコアの見掛けの密度と圧縮強度の関係を示す。これらによると、密度が同じであっても、圧縮強度は同じでなく、今回測定したコアの見掛けの密度と圧縮強度には、明確な相関は見られない。ただし、図-36 で示したように、締固め後の充填率が 98.6, 94.7, 89.1%と大きく異なる場合には、見掛けの密度も 2.14, 1.98, 1.85t/m³と異なり、圧縮強度もこれに応じて 12.2, 7.62, 2.50N/mm²と低下することが確かめられている。このことから、転圧締固めしたコアの見掛けの密度が大きく低下した場合には、それに応じて圧縮強度も低くなると考えられる。

配合 2 (単位セメント量 100kg/m³, Case1,2) では、見掛けの密度は 1.99~2.12t/m³の範囲にあり、圧縮強度は 2.87~6.06N/mm²の範囲にあった。また、配合 1 (単位セメント量 150kg/m³, Case3,4) では、見掛けの密度は 2.02~2.22t/m³の範囲にあり、圧縮強度は 5.68~13.9N/mm²の範囲にあった。このように、今回計測されたコアの見掛けの密度は 2.0t/m³より大きい範囲にあったため、それぞれの配合における圧縮強度としては、極端に低いものが発生しなかったものと考えられる。そのため、圧縮強度の最小値に対応した、見掛けの密度の最小値が考えられる。

このようなことから、実際の転圧締固めによる施工においてコアの見掛けの密度が大きく低下した場合、今回の実験結果に限れば 2.0t/m³程度を下回った場合には、圧縮強度もその最小値(配合 2 では 2.3N/mm², 配合 1 では 5.7N/mm²)より低下すると考えられる。そのため、施工時の品質管理において、必要な圧縮強度に対応する見掛けの密度の最小値を設定することで、セメント硬化体の品質を管理できると考えられる。なお、実際の施工においては、コアによる見掛けの密度の測定頻度は多くできないため、コアの見掛けの密度とよい相関がある RI 法による推定密度で管理することになる。

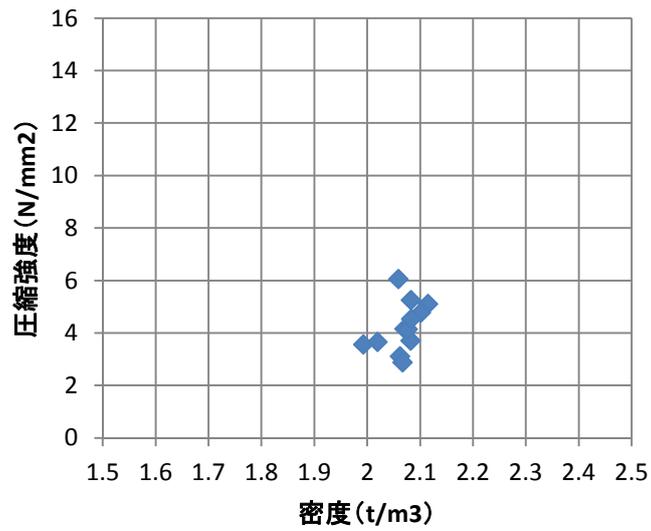


図-52 見掛けの密度と圧縮強度の関係（配合 2，単位セメント量 100kg/m³，Case1, 2）

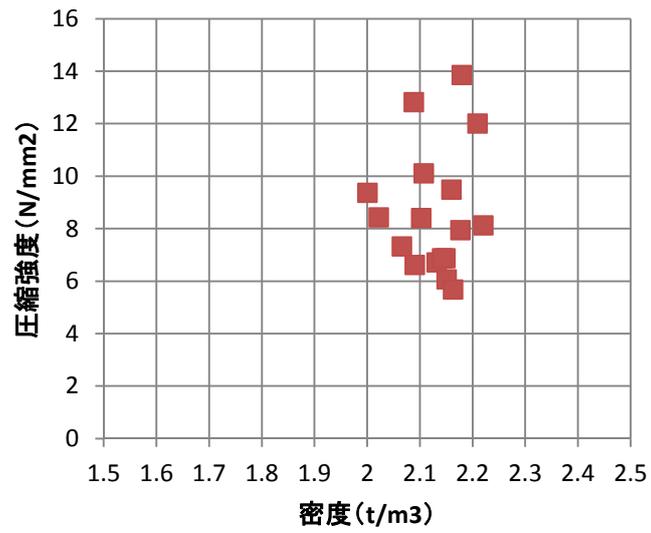


図-53 見掛けの密度と圧縮強度の関係（配合 1，単位セメント量 150kg/m³，Case3, 4）

(4) 実施工を模擬した実験のまとめ

実施工を模擬した実機実験により得られた結果を以下にまとめる。

- ・津波堆積物を含む破碎したコンクリートがれきと、セメント・水を混合したセメント混合物を実機ミキサで製造できることが確認できた。また、セメント混合物の加振締固め充填性は、コンクリートがれきの含水率の変動の影響を受けることがわかった。
- ・本実験で用いた 3t 級振動ローラーで、完全充填できる配合のセメント混合物を転圧した場合、転圧回数 8 回で沈下量はほぼ収束し、コアの密度、圧縮強度も加振締固め供試体と同程度の値が得られたことから、転圧締固めによっても、加振締固めによる完全充填と同じ締固めの効果が得られたと考えられる。このことから、実施工においては、沈下量の計測の代わりに転圧回数を管理することで品質の管理が行える。
- ・本実験で用いた 3t 級振動ローラーで、完全充填できない配合のセメント混合物を転圧した場合、転圧回数 8 回で沈下量は収束せず、10 回でも収束していない可能性が確かめられた。また、転圧締固めによるコアの密度、圧縮強度の方が、加振締固め供試体による値よりも高いことから、転圧締固めの方が、加振締固めよりも締固めの効果が高く得られたと考えられる。このことから、完全充填できない配合の締固め効果を評価するには加振締固めでは不十分であり、ダンパーなどを用いた衝撃締固めなどで評価する必要があると考えられる。
- ・コアの圧縮強度は、コア直径 250mm の供試体に比べ、コア直径 150mm の供試体の方がやや小さくなる傾向が見られた。このことから、最大骨材寸法の 3 倍以上の直径（本実験では 240mm 以上）で圧縮強度を測定することを正とすれば、直径 150mm のコアで圧縮強度を測定した場合は、やや安全側の評価になることがわかった。
- ・RI 測定法による現地での推定密度は、コアの見かけの密度とほぼ一致することから、現地密度の管理に有効な測定手法であることが確かめられた。また、密度を管理項目とする場合には、水中重量から求まる真密度よりも、コア外寸法から求まる体積で除した見掛けの密度で評価する方が、転圧締固めの効果を適切に評価できることがわかった。
- ・今回の実機実験で得られたコアの見掛けの密度と圧縮強度には、明確な相関は見られなかった。しかし、要素実験では、充填率と密度、および圧縮強度の間に相関性が見られたことから、転圧締固めしたコアの見掛けの密度が大きく低下した場合には、それに応じて圧縮強度も低くなると考えられる。そのため、施工時の品質管理において、必要な圧縮強度に対応する見掛けの密度の最小値を設定することが、セメント硬化体の品質管理に有効と考えられる。

7.3.3. 実験のまとめ

本章では、コンクリートがれきの材料特性、コンクリートがれきを用いたセメント混合物の練混ぜ性状、およびセメント硬化体の強度特性を明らかにする目的で室内実験、および実機における大型ミキサによる練混ぜ試験および転圧試験を行った。以下に得られた結論を示す。

i) 材料特性

- ふるい分けによる粒度分布は、図-54 に示すように、移動式粉砕機の刃間隔が狭くなると細粒分が多くなる傾向が認められ、破砕機の刃間隔を 50mm としたものは、がれきの種類によらず、「砂防ソイルセメント活用ガイドライン」の既往実績の粒度範囲内にあることを確認した。
- 破砕回数は、図-55 の破砕回数と粒度分布の関係に示すように、破砕の費用と時間を考慮すると、1 回でよいと判断できた。
- 画像解析処理によるコンクリートがれきの粒度分布の推定結果は、図-56 に示すように、実際のふるい分けによる粒度分布の概ね±3%の範囲内にあり、画像解析処理技術による粒度推定ができることが確かめられた。
- 通常のコンクリート用細骨材および粗骨材と比較して、コンクリートがれきの表乾密度は小さく、吸水率は大きい結果であった。これは、図-57 に示すように、粒径 5mm 以下に含まれる微粒分が 10～23%と多いことによると推察される。また、軽量ブロックを含むコンクリートがれきの密度・吸水率は、他のものに比べて密度は小さく、吸水率は大きい結果であり、軽量ブロックの混入が影響していると考えられた。
- コンクリートがれきに含有されている混入物として、本実験では、軽量ブロック、瓦、ガラス、プラスチック、木くず、鉄および紙類を確認したところ、多くがコンクリートを主体としており、他の材料の混入は少ないことが確かめられた。これは、コンクリートがれきが集積の時点で、ある程度分別されているためと考えられる。
- コンクリートがれき、およびコンクリートがれきを使用したセメント硬化体のいずれも、六価クロムやカドミウムなどの有害物質は環境基準を下回っており、今回実験で用いたコンクリートがれきに関しては、有害物質の溶出が周辺環境に及ぼす影響はないことが確かめられた。

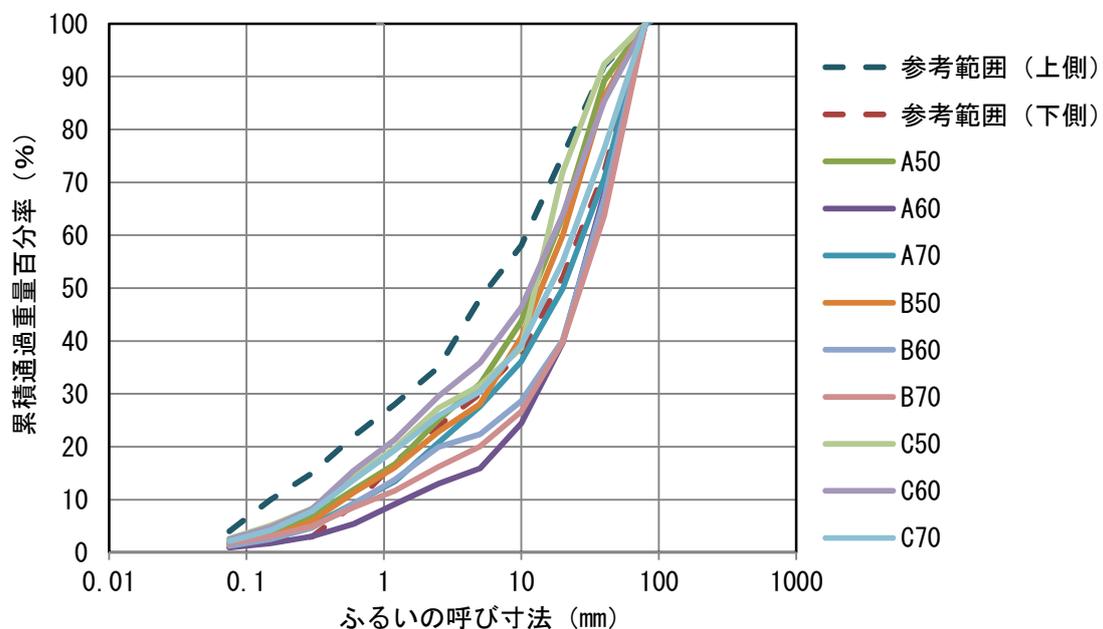


図-54 コンクリートがれきの種類ごとの破砕機刃間隔と粒度分布の関係

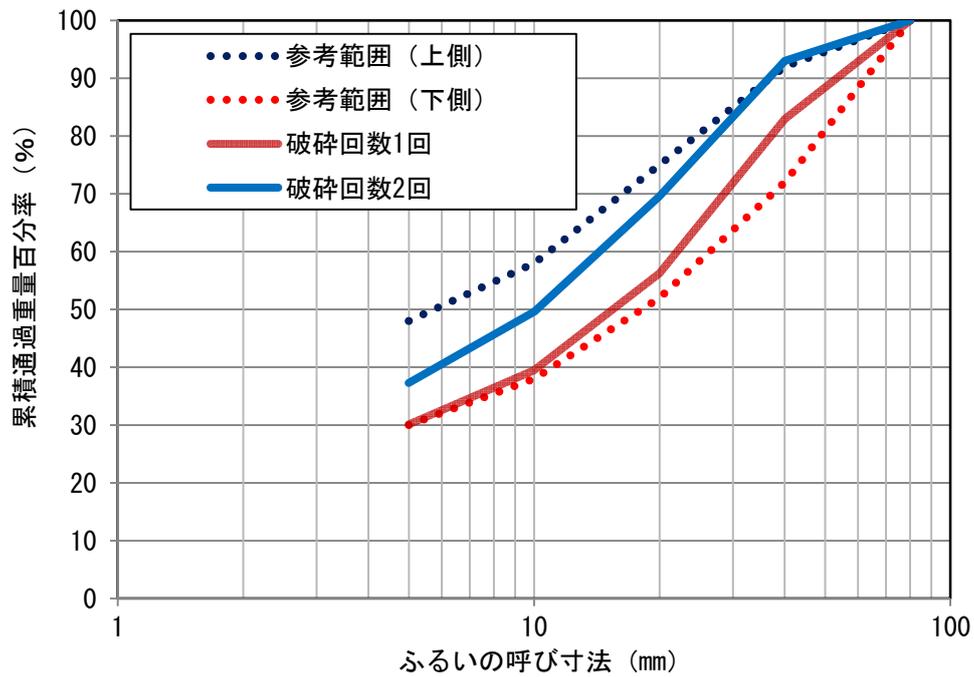


図-55 破碎回数と粒度分布の関係

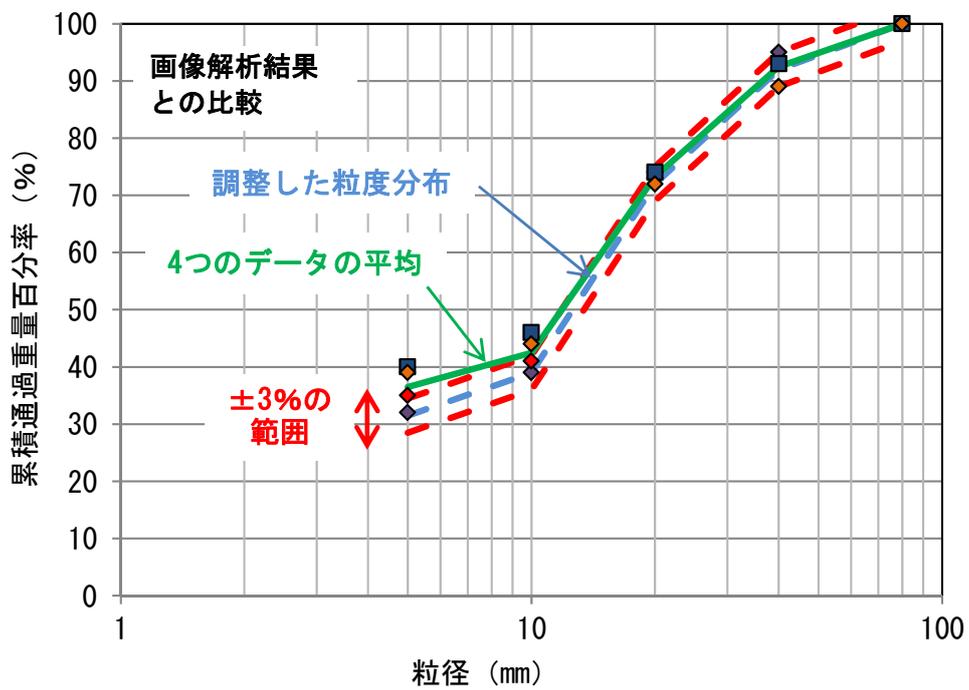


図-56 画像解析により求めたコンクリートがれきの粒度分布

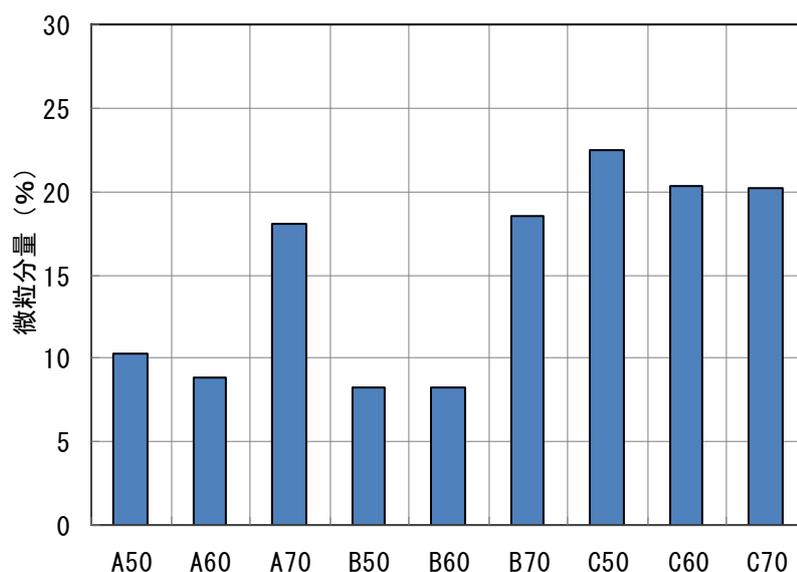


図-57 コンクリートがれきに含まれる微粒分量

ii) 練混ぜ・締固め性状

・コンクリートがれきを用いた場合でも完全充填できるスランプ 0cm の超硬練り配合や粉体量を低減させた配合のセメント硬化体を製造することができる。

・完全充填が得られる、適切な α (粒径 5mm 以下の細骨材相当のがれきの実積率から求まる間隙体積と、それを充填するセメントペースト体積の比率)、 β (粒径 5mm を超える粗骨材相当のがれきの実積率から求まる間隙の体積と、それを充填するモルタル体積の比率) の値は、図-58 に示すように、それぞれ 1.0~1.4, 1.3~1.7 であることが確かめられた。ただし、 α および β の値が適切な範囲にあるにも拘らず、完全充填できない配合も認められ、これは S/A の影響があると考えられた。

・コンクリートがれきの全質量に対する粒径 5mm 以下のがれき量の比率 (S/A) と締固めエネルギーとの関係においては、図-59 に示すように、S/A の如何に拘らず、単位ペースト量が多くなるにしたがって、締固め性試験 3 分後の充填率が大きくなる傾向を示した。また、S/A に応じて適切な単位ペースト量は異なり、コンクリートがれきの S/A の実測データを基に、単位ペースト量を定めることが可能であることが分かった。

・スランプ試験後の性状や加振締固め性試験後の硬化体の表面の状況において、単位ペースト量が適切でないと評価された場合には、単位ペースト量 (単位水量, 単位セメント量) の増減によって調整を行う必要がある。

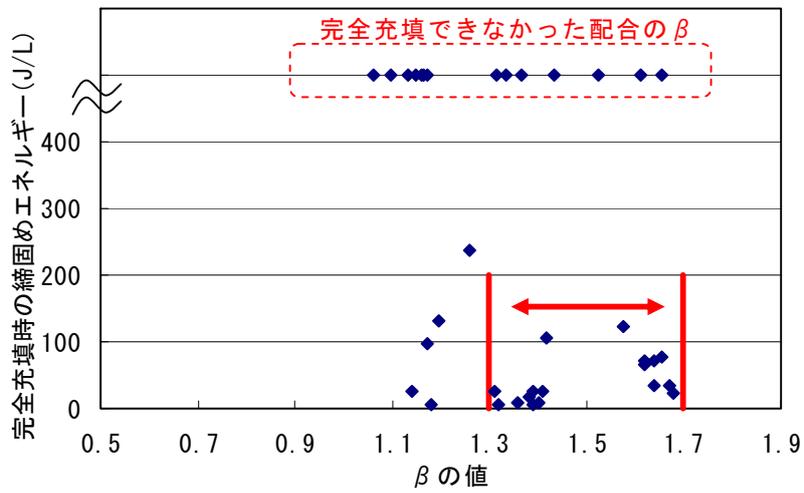
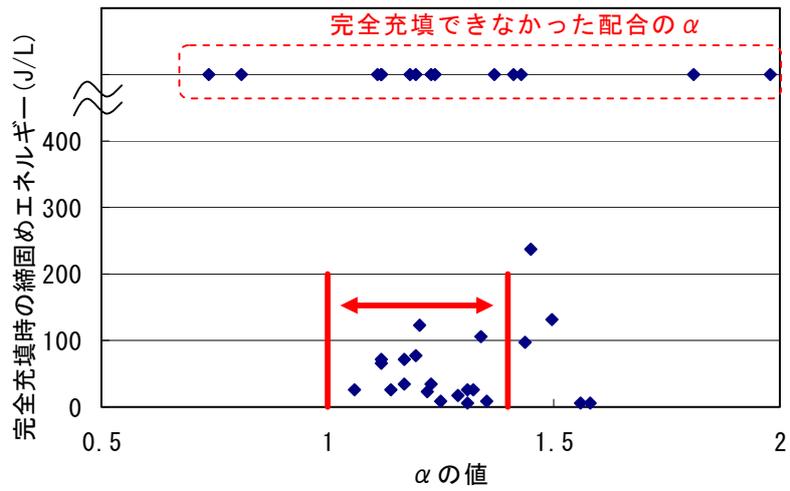


図-58 α , β の値と完全充填時の締固めエネルギーの関係

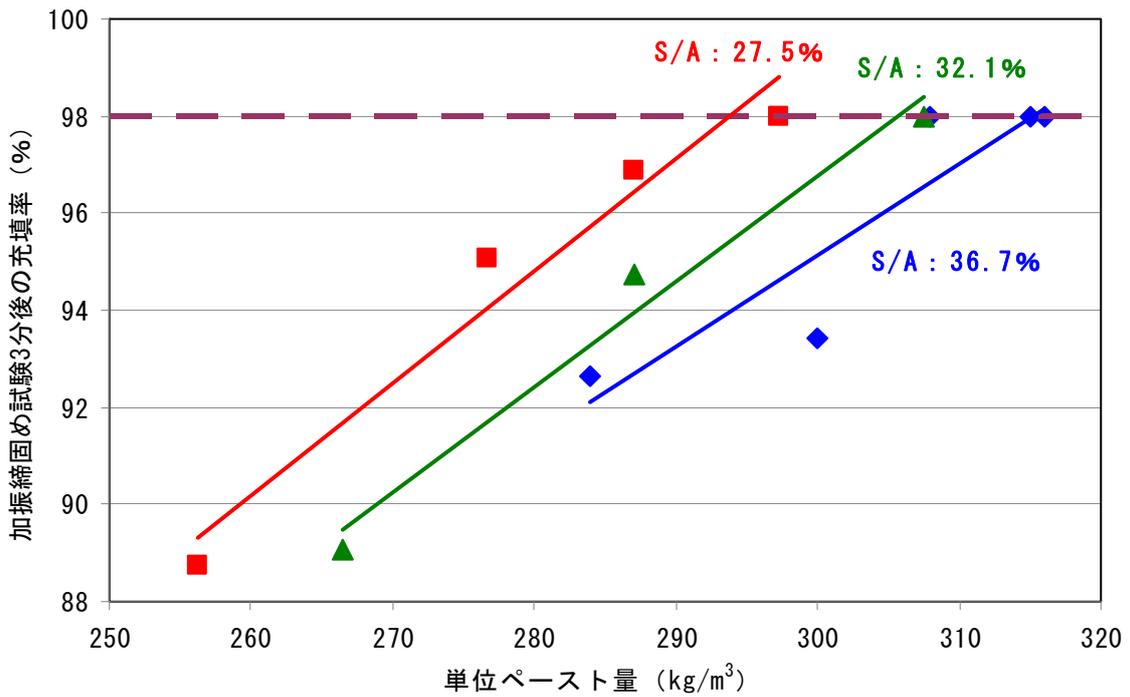


図-59 締固め性試験 3 分後の充填率と細骨材質量率

iii) 強度特性

・完全充填配合における室内加振締固め供試体、実機加振締固め供試体、およびコア供試体の圧縮強度を図-60、表-35に示す。ここでは、コア径φ150供試体の結果について取りまとめた。また、品質管理に使用する室内および実機による加振締固め供試体は3体の平均を、実機のコア供試体は試験結果の最小を示した。設計基準強度を実機コア強度に設定した場合、室内レベルでは2.15倍の圧縮強度が発現するような水セメント比を選定する必要があると考えられる。また、通常品質管理である、実機レベルの加振締固め供試体では、設計基準強度の1.43倍を確保する必要があると考えられた。

・完全充填配合供試体の見掛けの密度は、図-61に示すように、練混ぜ方法や締固め方法の如何に拘らず、ほぼ同程度であることを確認した。

・完全充填できない配合における室内加振締固め供試体、実機加振締固め供試体、およびコア供試体の圧縮強度、および見掛けの密度は、図-62、図-63に示すように、コア供試体が加振締固め供試体より若干大きくなる結果を示した。これは、転圧によって硬化体の間隙を埋めていることが要因であると考えられる。したがって、単位セメント量を低減させた貧配合は、加振による供試体の製作方法は適当ではなく、タンピングなどにより衝撃エネルギーを与えることが必要であると考えられる。

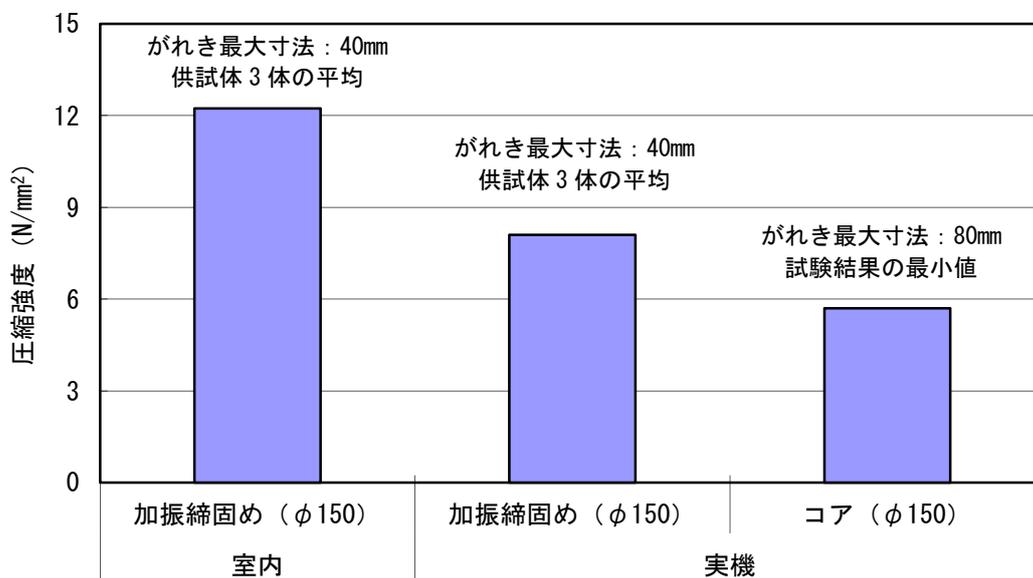


図-60 練混ぜ方法と締固め方法ごとの圧縮強度の比較 (完全充填配合)

表-35 実機のコア強度に対する室内および実機の加振締固め供試体の強度比

	室内	実機	
	加振締固め (φ150)	加振締固め (φ150)	コア (φ150)
圧縮強度 (N/mm ²)	12.23	8.11	5.68
コアに対する強度比	2.15	1.43	-

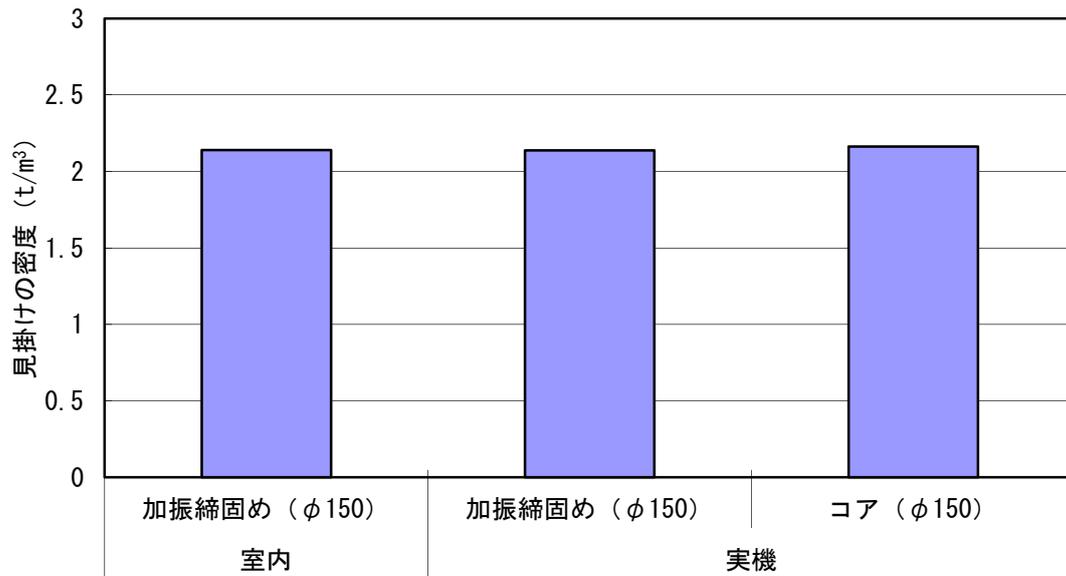


図-61 練混ぜ方法と締固め方法ごとの見掛けの密度の比較（完全充填配合）

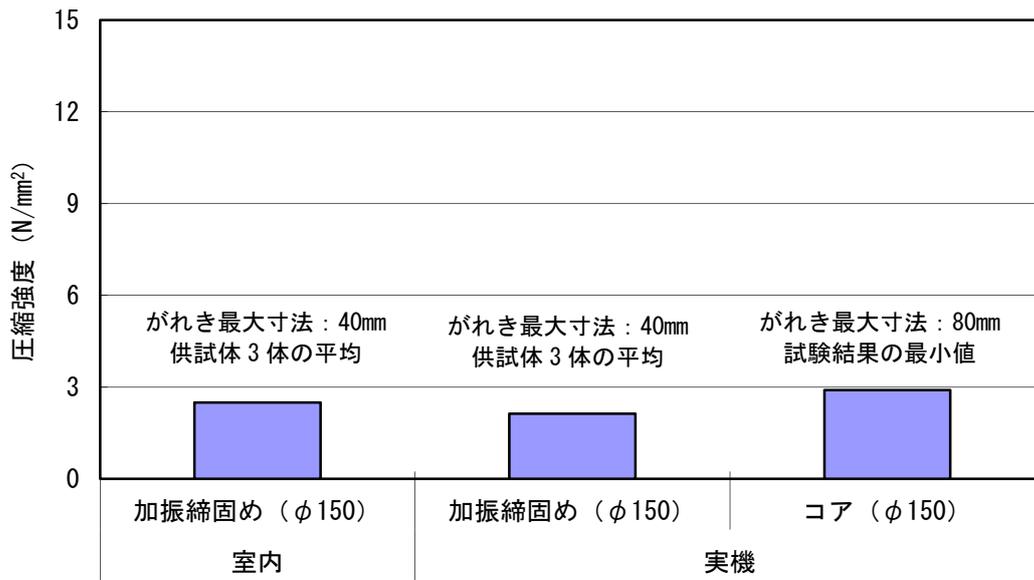


図-62 練混ぜ方法と締固め方法ごとの圧縮強度の比較（完全充填できない配合）

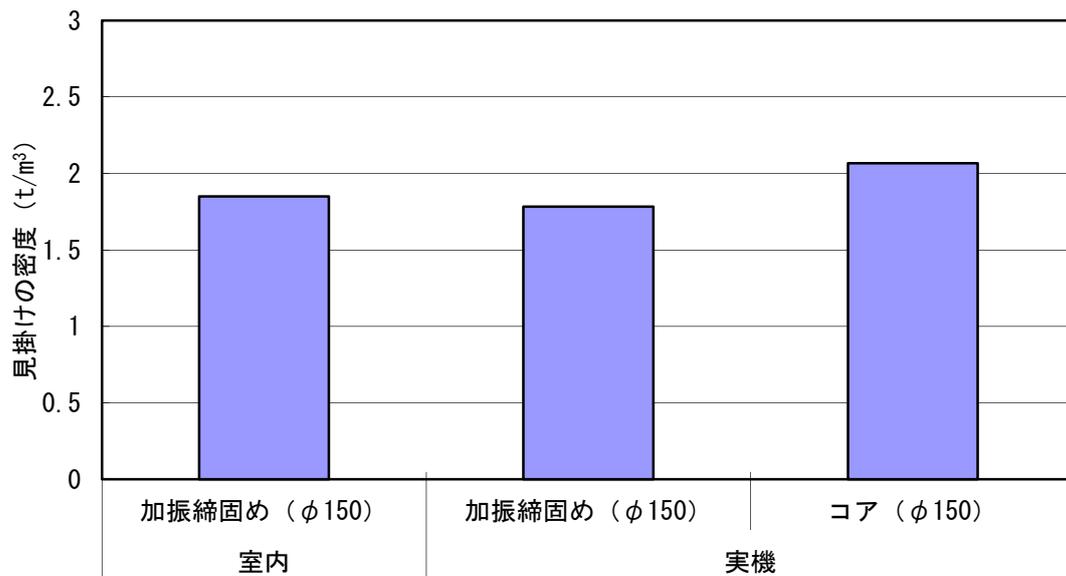


図-63 練混ぜ方法と締固め方法ごとの見掛けの密度の比較（完全充填できない配合）

iv) 実機における転圧試験結果

- ・津波堆積物を含む破碎したコンクリートがれきと、セメント・水を混合したセメント混合物を実機ミキサで製造できることが確認できた。また、セメント混合物の加振締固め充填性は、コンクリートがれきの含水率の変動の影響を受けることがわかった。

- ・コアの圧縮強度は、コア直径 250mm の供試体に比べ、コア直径 150mm の供試体の方がやや小さくなる傾向が見られた。このことから、最大骨材寸法の 3 倍以上の直径（本実験では 240mm 以上）で圧縮強度を測定することを正とすれば、直径 150mm のコアで圧縮強度を測定した場合は、やや安全側の評価になることがわかった。

- ・RI 測定法による現地での推定密度は、コアの見かけの密度とほぼ一致することから、現地密度の管理に有効な測定手法でることが確かめられた。また、密度を管理項目とする場合には、水中重量から求まる真密度よりも、コア外寸法から求まる体積で除した見掛けの密度で評価する方が、転圧締固めの効果を適切に評価できることがわかった。

- ・今回の実機実験で得られたコアの見掛けの密度と圧縮強度には、明確な相関は見られなかった。しかし、要素実験では、充填率と密度、および圧縮強度の間に相関性が見られたことから、転圧締固めたコアの見掛けの密度が大きく低下した場合には、それに応じて圧縮強度も低くなると考えられる。そのため、施工時の品質管理において、必要な圧縮強度に対応する見掛けの密度の最小値を設定することが、セメント硬化体の品質管理に有効と考えられる。

7.4. 構造物に適用するための品質管理手法の提案

7.4.1. 本技術開発の成果の実構造物への適用

「7.3.3 実験結果のまとめ」でも述べたとおり、加振締固め性が良好な完全充填が得られる配合の選定方法を確立することができた。また、完全充填できる配合のセメント硬化体では、水セメント比に応じた圧縮強度が得られることも確認できた。ただし、この場合のセメント硬化体の実機転圧によるコア圧縮強度は、今回実験した水セメント比 105%で 5.7~12.0N/mm²であることから、6N/mm²程度を超える圧縮強度が要求される材料として適用できる。一方、水セメント比をこれ以上大きくすることは、材料分離しやすくなることから難しく、この管理方法でこれより低強度の配合を選定することは現実的でないと考えられる。このようなことから、コンクリートがれきのセメント硬化体について、水セメント比に応じた圧縮強度が発現することを前提とした管理方法を適用する場合には、設計基準強度で 6N/mm²程度が圧縮強度範囲の下限になると考えられる。これに対し、加振締固め性が良好でなく、完全充填が得られない配合（理論充填率 86.3%，実測充填率 81.1%）でも転圧実験を行い、施工性とセメント硬化体として得られる圧縮強度の確認を行った。その結果、今回の実験で採用した加振締固め性試験では十分な充填性が得られない配合でも、振動ローラーによる転圧締固めによれば、コア圧縮強度で 2.9~6.1N/mm² の圧縮強度が得られた。このようなことから、圧縮強度が 6N/mm² 程度以下の比較的低い強度でよい場合には、完全充填できない配合を用いることもできると考えられ、このような配合の選定は、従来のダム用コンクリートなど、貧配合のコンクリートの品質管理で行われている、タンピングにより整形する供試体の圧縮強度で評価できると考えられる。

表-36 に充填性に基づく材料としての適用範囲を示す。要求される圧縮強度の観点からは、完全充填できない配合で適用できる上限が存在すると考えられ、既往のダム用コンクリートなどの実績によれば、3N/mm²程度以下で適用でき、6N/mm²程度以下は選定する配合によっては、適用できる場合があると考えられる。一方、完全充填できる配合では、要求される圧縮強度が 6N/mm²程度以下の場合には、実強度が高いため、やや過剰な性能となるが、いずれの強度範囲でも適用できる。これに対し、有害物質の溶出抑制の観点からは、基本的には要求される圧縮強度にかかわらず、完全充填できる配合の適用性が高いと考えられる。

表-36 充填性に基づく材料としての適用範囲

適用できると考えられる用途	施工時のスランプ (cm)	要求される圧縮強度 (N/mm ²)	要求される圧縮強度の観点からの適用性		有害物質溶出抑制の観点からの適用性	
			完全充填できる配合	完全充填できない配合	完全充填できる配合	完全充填できない配合
盛土材・嵩上材など	0	0.5~1.5	○	○	○	△
堰堤中詰材など	0	1.5~3.0	○	○	○	△
護岸内部材など	0	3.0~6.0	○	△	○	△
堤体上流側の外部材など	0	6.0~18.0	○	—	○	—
被覆ブロック・漁礁など	3~5程度	18.0程度	○	—	○	—

○：適用可能，△：条件によって適用可能，—：適用の対象外

7.4.2. 品質管理手法の提案

図-64~図-67 に本技術開発での実験結果から得られた知見に基づく、コンクリートがれきのセメント硬化体製造にかかわる品質管理手法を示す。以下、図ごとに管理方法（案）の概要を述べる。

図-64 にコンクリートがれきの破碎方法と粒度分布の管理方法（案）を示す。コンクリートがれきを用いたセメント硬化体の製造は、可能な限り粒度調整を行わず、多大な労力をかけずに用いることを目標としているため、破碎機の刃間隔の調整で所定の粒度分布の範囲に入りにすることが基本となる。しかしながら、集積されているコンクリートがれきの状態によっては、一次破碎のみでは所定の粒度に調整できない場合も考えられる。このような場合には、一次破碎したコンクリートがれきを、再度、破碎機の刃間隔を調整した上で二次破碎するか、これによっても適切な粒度が得られない場合は、粒径 5mm 以下の細骨材相当の砂分量を人工的に調整することで所定の粒度を確保する。これは例えば、津波堆積物の混入量が少なく、粒径 5mm 以下の細骨材相当の成分が不足するような場合が考えられる。

そのため、細骨材相当の砂として、津波堆積物を積極的に加えてもよい。また、ここでは必要に応じて重金属などの溶出に関する試験を行う。なお、津波堆積物を含む破碎後のコンクリートがれきは、微粒分量が通常のコンクリート用骨材に比べて多く、そのため含水率も高くなるが、表乾状態は通常のコンクリート用骨材と同様に判断でき、密度や吸水率などは、コンクリート用骨材に関する試験方法に準じて評価できる。

図-65 に水セメント比に基づく配合設計の方法（案）を示す。この方法は、水セメント比に基づいて配合を選定するものである。この方法では、まず要求される設計基準強度に対して、実構造物との差異を勘案した割増係数 γ_a を乗じた供試体圧縮強度を設定する。本実験の結果によれば、この安全率は 2.15 となる。例えば、設計基準強度が 6.0N/mm^2 の場合には、小型ミキサで練混ぜて製作する供試体の圧縮強度で 12.9N/mm^2 が必要強度となる。これを水セメント比と供試体圧縮強度との関係に当てはめ、水セメント比が決定される。このとき、水セメント比と圧縮強度の関係曲線を得ることを目的に、中心とする水セメント比に対して、 $\pm 10\%$ の水セメント比での供試体製作も計画する。次に、本実験結果から得られた S/A と完全充填するのに必要な単位ペースト量との関係から、単位水量、単位セメント量、および単位がれき量を求める。この配合からセメントペーストの充填性に関する指標 α と、モルタルの充填性に関する指標 β を算出し、おのおのが本実験結果から定めた適切と考えられる範囲 ($1.0 \leq \alpha \leq 1.4$, $1.3 \leq \beta \leq 1.7$) に入ることを確認する。ここで、 α 、 β のいずれかが不適切であれば、単位水量と単位セメント量を調整して、 α 、 β が所定の範囲に入るようにするが、例えば 5mm 以下の細骨材相当成分の量が多い場合、すなわち S/A が大きい場合には、単位水量と単位セメント量が大きくなるため、これが過大なときは S/A を調整することも考えられる。これによって定めた配合で試験練りを行い、所定のスランプと加振締固め性、および圧縮強度が得られることを確認する。さらに、実機ミキサによる試験練りでスランプと加振締固め性を確認し、転圧実験で製作したセメント硬化体からコアを採取して圧縮強度と密度を確認することで配合が選定される。このとき、コアの直径は、破碎したコンクリートがれきの最大寸法 80mm の 3 倍以上を確保するため、 $\phi 250\text{mm}$ を基本とする。ただし、室内試験供試体や実機実験での加振締固め供試体の直径は、最大寸法 40mm にウェットスクリーニングをして $\phi 150\text{mm}$ となることから、実際の施工時の品質管理でも $\phi 150\text{mm}$ を用いる。そのため、コアは $\phi 150\text{mm}$ も採取して、直径の影響がどの程度であるかを実機実験の際に確認する。

実機転圧コアで所定の圧縮強度が得られない場合には、フローの最初に戻って再検討することになるが、その場合には、その時に使用しているコンクリートがれきに合わせた管理図（参考図-2～参考図-10 に示した、水セメント比と圧縮強度の関係図、S/A と単位ペースト量の関係図、 $\alpha \cdot \beta$ の適切な範囲図、コア圧縮強度と加振締固め供試体圧縮強度との関係図など）に修正する。このフローにしたがえば、水セメント比に基づく配合、振動ローラーの起振力と転圧回数、管理基準 RI 密度、および実機ミキサで混合したセメント混合物を加振締固めした供試体による管理基準圧縮強度が決められる。

図-66 に水セメント比に基づかない配合設計の方法（案）を示す。この方法は、水セメント比に基づかずに配合を選定するものである。まず、既往のダムコンクリートなどでの実績を参考に、要求される圧縮強度に応じた単位水量と単位セメント量を 3 水準程度設定する。次に試験練りを行い、適切な練混ぜ状態であることを目視により確認する。このときの判断基準としては、極端にドライ、もしくはウェットでないことを練混ぜたセメント混合物で確認することや、ミキサへのモルタルの付着具合などから総合的に判断する。練混ぜ状態が適切と判断されれば、タンピングにより供試体を整形して製作する。このとき、使用するタンパーに応じて適切と考えられる締固めエネルギーを、締固め時間をパラメータとして設定し、3 水準程度の締固めエネルギーに対する供試体を製作して、所要の圧縮強度が得られることを確認する。さらに、実機ミキサによる試験練りで練混ぜ状態を確認し、転圧実験で転圧回数をパラメータにしてセメント硬化体を製作し、これからコアを採取して圧縮強度と密度を確認する。この転圧実験により、所定のコア圧縮強度が得られる転圧条件が決まり、配合が選定される。また、タンピングによる締固めエネルギーをパラメータに製作した試験練り供試体と、転圧実験で転圧回数をパラメータに製作したコア供試体の圧縮強度と密度を比較し、転圧により得られる圧縮強度を再現できるタンパーの締固めエネルギーも決定される。このとき、コアの直径は、破碎したコンクリートがれきの最大寸法 80mm の 3 倍以上を確保するため、 $\phi 250\text{mm}$ を基本とする。ただし、室内試験供試体や実機実験での加振締固め供試体の直径は、最大寸法 40mm にウェットスクリーニングをして $\phi 150\text{mm}$ となることから、実際の施工時の品質管理でも $\phi 150\text{mm}$ を用いる。そのため、コアは $\phi 150\text{mm}$ も採取して、直径の影響がどの程度であるかを実機実験の際に確認する。

実機転圧コアで所定の圧縮強度が得られない場合には、フローの最初に戻って再検討することになる

が、その場合には、その時に使用しているコンクリートがれきに合わせた管理図（参考図-11～参考図-14 に示した、圧縮強度と締固め秒数の関係図など）に修正する。このフローにしたがえば、水セメント比に基づかない配合、振動ローラーの起振力と転圧回数、管理基準 RI 密度、および実機ミキサで混合したセメント混合物を衝撃締固めした供試体の締固め秒数が決められる。

なお、水セメント比に基づかない配合の選定では、地盤改良土の考え方に基づいて単位セメント量、単位水量を決定することも考えられる。その場合には、一軸圧縮強度に加え、三軸圧縮試験などにより得られる粘着力 C と内部摩擦角 ϕ を得るように、図-66 の供試体やコアによる圧縮強度測定の内容を置き換えて考えればよい。

図-67 に実施工における品質管理方法（案）を示す。実施工では、まず破碎したコンクリートがれきの粒度分布を管理する。通常はふるい分け試験により行うが、日常管理においては、本実験で成果の得られた画像解析手法（1 回の計測に要する時間 5 分程度）を用いることで、効率的な管理が可能となる。粒度分布が、配合設計の際に設定した所定の範囲にあることを確認し、所定の範囲に入らない場合には、再度、コンクリートがれきの品質管理方法（案）に戻って検討する。実機ミキサでの練混ぜでは、練混ぜ性状を確認する。完全充填の配合ではスランプと締固め性を確認し、完全充填の配合でない場合には目視で確認する。このとき、練混ぜ性状が適切でない場合には、コンクリートがれきの含水率を測定し、必要に応じて表面水の補正を行う。含水率の測定方法としては、フライパンを用いて強制的に乾燥させる方法や、乾燥炉を用いて乾燥させる方法が通常行われているが、結果が得られるまでに時間を要する。そのため、本技術開発では検討を行っていないが、RI 測定法（放射線測定法）などにより効率的に含水率を測定する方法の適用も考えられる。また、実機で練り混ぜたセメント混合物からテストピースを採取して圧縮強度と密度を測定し、要求される圧縮強度を満足することを確認する。このときの成型方法としては、完全充填の配合では本実験で用いた加振締固め性試験装置を用い、完全充填の配合でない場合には、タンパーを用いて予め定められた締固めエネルギーを加えて行う。実機による転圧では、沈下量と RI 密度を測定する。沈下量は適切な転圧締固めが行えていることを確認する指標となり、予め定められた転圧回数と沈下量との関係を基準に評価する。また、RI 密度はコア密度との相関があり、コア密度はコア圧縮強度との直接の相関性は低いが、コア圧縮強度の下限値を知る指標にはなるため、間接的に圧縮強度を確認し、実施工における圧縮強度を管理する目安にできる。以上の品質管理の結果は、品質管理記録として残し、日常の品質管理に反映させる。

表-37 に実施工における測定項目ごとの測定頻度（案）を示す。上述の実施工での品質管理において、適切な管理を行うための測定頻度は、コンクリートがれきの状態やセメント硬化体の使われる用途によって異なると考えられるため、一律に定めることは難しいが、本技術開発での実験を通じて妥当と思われる頻度を案として示す。実機実験では転圧時に沈下量計測を行ったが、実施工においては所定の転圧回数で施工することから、転圧時の沈下量計測は、日常の品質管理項目から除外した。ただし、各層で転圧回数の確認を行うこととする。また、津波堆積物を含むコンクリートがれきからの有害物質溶出量について、本実験では環境庁告示 13 号（産業廃棄物に含まれる金属等の検定方法）の方法に準じて測定したが、本技術開発での用途はセメント硬化体として利用するものであり、産業廃棄物に係るものではないため、日常管理においては環境庁告示 46 号（土壌の汚染に係る環境基準について）の方法に準じて測定するものとした。セメント硬化体については、供試体形状のままで水に浸漬して溶出量を測定する土木学会規準 JSCE-G 575（硬化したコンクリートからの微量成分溶出試験方法（案））に準じるものとした。さらに、水セメント比に基づかない配合の選定で、地盤改良土の考え方に基づいて単位セメント量、単位水量を決定する場合には、一軸圧縮強度に加え、三軸圧縮試験などにより得られる粘着力 C と内部摩擦角 ϕ を実施工における測定項目に加えることも考えられる。

表-37 実施工における測定項目ごとの測定頻度（案）

測定対象	測定項目	測定方法	測定頻度
破砕した コンクリートがれき	含水率	RI法（放射線測定法）	連続計測
		強制乾燥法（フライパン法）	1回/2時間
		強制乾燥法（乾燥炉法）	1回/日
	粒度分布	画像解析法	連続計測
		ふるい分け法（JIS A1102）	1回/日
	密度・吸水率	JIS A1109, JIS A1110	1回/日
	単位容積質量・実積率	JIS A1104	1回/日
有害物質溶出量	環境庁告示第46号の方法	1回/週	
セメント混合物	スランプ	JIS A1101	1回/日
	加振締固め性	JSCE-F508	1回/日
	転圧回数	目視確認	各層
セメント硬化体	供試体圧縮強度・密度	JIS A1108	1回/日
	（粘着力・内部摩擦角）	（土の三軸圧縮試験）	（1回/日）
	現地密度	RI法（放射線測定法）	1回/日
	有害物質溶出量	土木学会規準JSCE-G 575	1回/週
	コア圧縮強度・密度	JIS A1107	必要に応じて

セメント硬化体の測定のうち、粘着力と内部摩擦角は、地盤改良土の考え方に準じて材料特性値を決定したときに測定項目に加える。

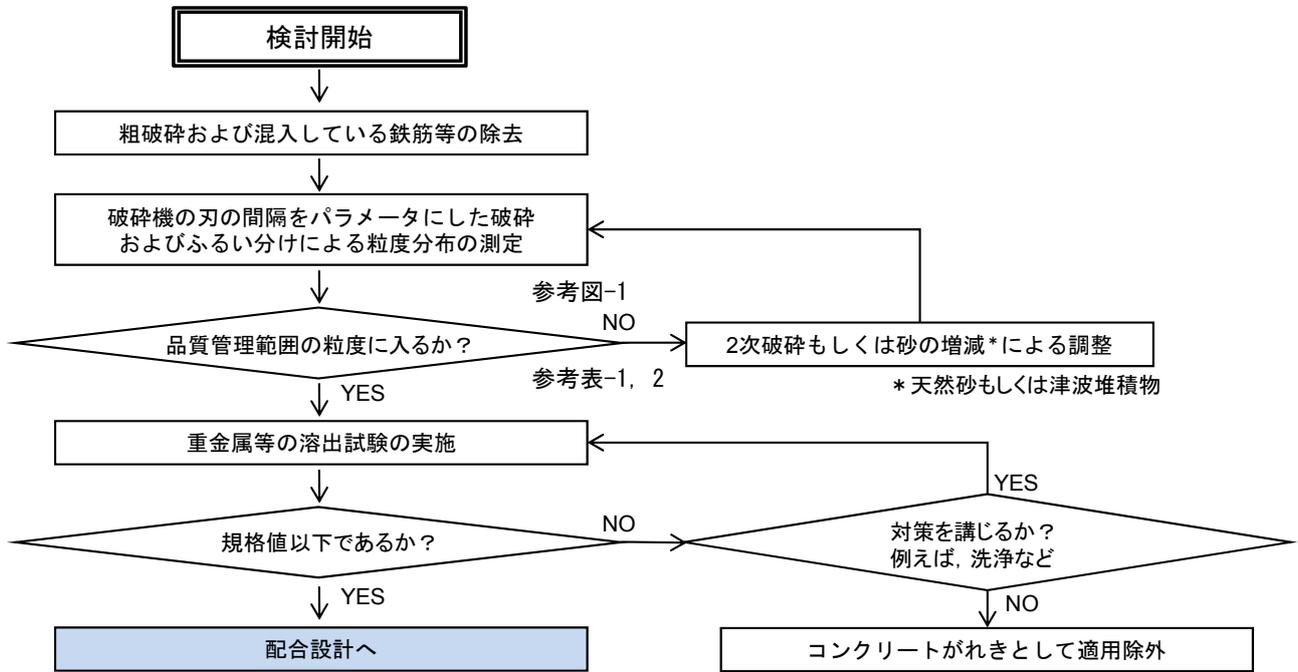
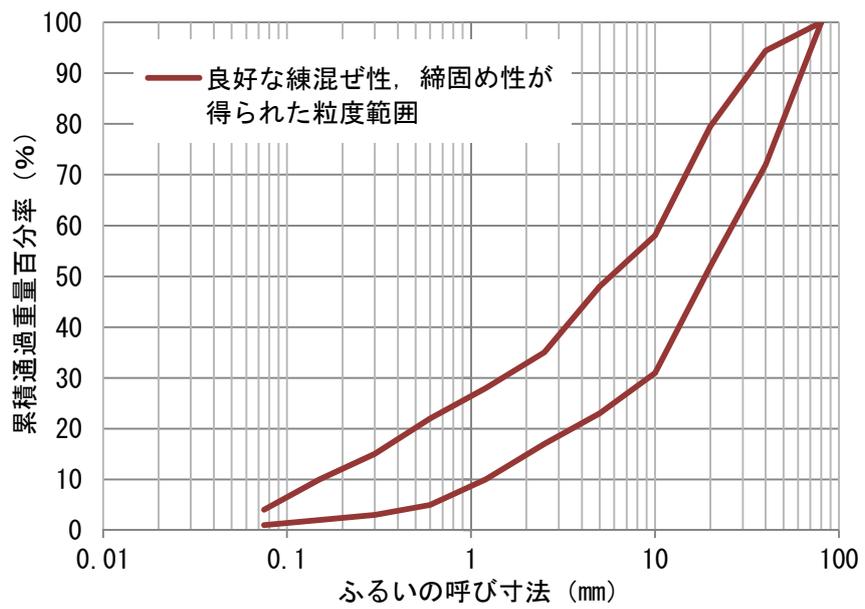


図-64 コンクリートがれきの品質管理方法（案）



参考図-1 実測に基づく適切な練混ぜ性, 締固め性が得られた粒度範囲

参考表-1 コンクリートがれきおよび津波堆積物からの有害物質溶出試験結果*1

測定物質 /測定項目	環境基準*2 (mg/L以下)	コンクリートがれき、津波堆積物からの溶出量 (mg/L)								分析機器	分析手法*3	備考
		A70		B70		C70		津波堆積物				
		①	②	①	②	①	②	①	②			
カドミウム	0.003	0.001以下	0.001以下	0.001以下	0.001以下	0.001以下	0.001以下	0.001以下	0.001以下	ICP	JISK0102	
鉛	0.01	0.001以下	0.001以下	0.001以下	0.001以下	0.001以下	0.001以下	0.002	0.007	ICP	JISK0102	
六価クロム	0.05	0.005以下	0.005以下	0.005以下	0.005以下	0.005以下	0.005以下	0.005以下	0.005以下	原子吸光	JISK0102	
砒素	0.01	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.004	0.004	ICP	JISK0102	
総水銀	0.0005	0.00005以下	0.00005以下	0.00005以下	0.00005以下	0.00005以下	0.00005以下	0.00005以下	0.00005以下	原子吸光 (水銀専用)	JISK0102	
セレン	0.01	0.001	0.001以下	0.006	0.004	0.001	0.001以下	0.001以下	0.001以下	ICP	JISK0102	
ふっ素	0.8	0.343	0.542	0.652	0.553	0.424	0.446	0.154	0.149	IC	JISK0102	
ほう素	1.0	0.056	0.01以下	0.110	0.039	0.013	0.008	0.085	0.055	ICP	JISK0102	
シアン	検出されないこと	未検出	未検出	未検出	未検出	未検出	未検出	未検出	未検出	吸光度	JISK0102	
pH	-	11.65	11.95	11.66	11.86	11.38	11.39	9.64	9.15	pHメーター (ガラス電極)	JISK0102	
電気伝導度	-	200	245	128	187	131	133	15.17	9.95	電気伝導度計	JISK0102	海水 : 4800ms/m程度
Cl ⁻	-	84.7	91.1	53.1	59.7	59.4	82.1	31.9	32.8	電位差滴定装置	JCI-SC5	海水 : 13400mg/L程度

*1 : 環境庁告示 13 号 (産業廃棄物に含まれる金属等の検出方法) に準拠し, 試料作製, 試料液準備, 溶出を行った。

*2 : 環境庁告示 46 号 (土壌の汚染に係わる環境基準) に準拠した。ただし, カドミウムについては, 地下水環境基準の 0.003mg/L 以下 (環告 46 号 : 0.01mg/L 以下) とした。

*3 : 環境庁告示 18 号に記載されている, JIS K 0102 (工場排水試験方法) に準拠し, 測定を行った。ただし, Cl⁻については JCI-SC5 に準拠した。

参考表-2 セメント硬化体からの有害物質の溶出量*1

測定物質 /測定項目	環境基準*2 (mg/L以下)	セメント硬化体からの溶出量				分析機器	分析手法*3	備考
		供試体①		供試体②				
		24時間後	48時間後	24時間後	48時間後			
カドミウム	0.003	0.001以下	0.001以下	0.001以下	0.001以下	ICP	JISK0102	
鉛	0.01	0.001以下	0.001以下	0.001以下	0.001以下	ICP	JISK0102	
六価クロム	0.05	0.005以下	0.005以下	0.005以下	0.005以下	原子吸光	JISK0102	
砒素	0.01	0.002	0.002	0.002	0.002	ICP	JISK0102	
総水銀	0.0005	0.00005以下	0.00005以下	0.00005以下	0.00005以下	原子吸光（水銀専用）	JISK0102	
セレン	0.01	0.001以下	0.001以下	0.001以下	0.001以下	ICP	JISK0102	
ふっ素	0.8	0.318	0.156	0.327	0.161	IC	JISK0102	
ほう素	1.0	0.01以下	0.01以下	0.01以下	0.01以下	ICP	JISK0102	
シアン	検出されないこと	未検出	未検出	未検出	未検出	吸光度	JISK0102	
pH	-	11.67	11.44	11.72	11.44	pHメーター（ガラス電極）	JISK0102	
電気伝導度	-	89.3	52.7	93.4	51.8	電気伝導度計	JISK0102	海水：4800ms/m程度
Cl ⁻	-	50.1	42.1	33.9	42.4	電位差滴定装置	JCI-SC5	海水：13400mg/L程度

*1：JSCE-G 575-2005（タンクリーチング試験）に準拠し，試料作製，試料液準備，溶出を行った。

*2：環境庁告示 46 号（土壌の汚染に係わる環境基準）に準拠した。ただし，カドミウムについては，地下水環境基準の 0.003mg/L 以下（環告 46 号：0.01mg/L 以下）とした。

*3：環境庁告示 18 号に記載されている，JIS K 0102（工場排水試験方法）に準拠し，測定を行った。ただし，Cl⁻については JCI-SC5 に準拠した。

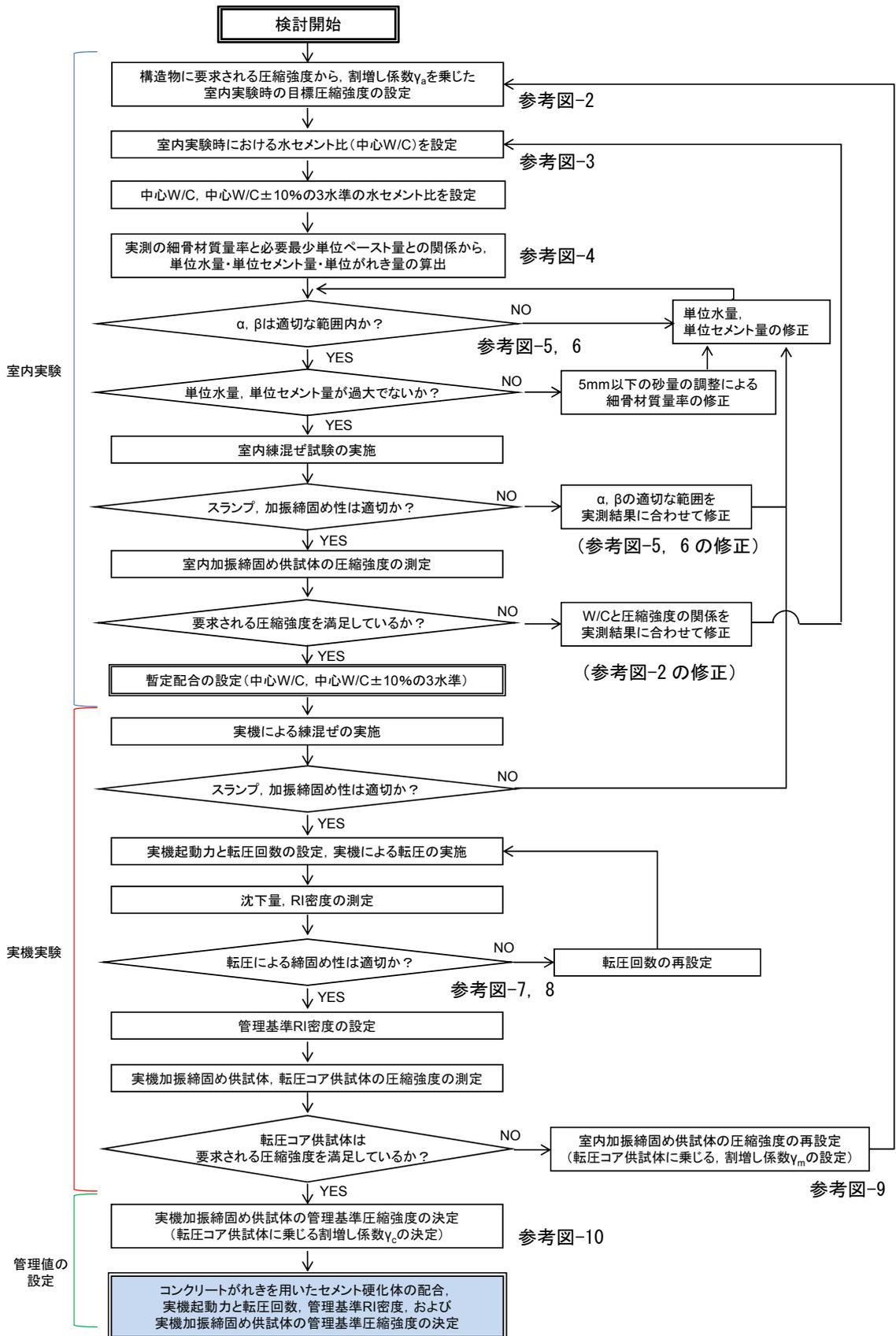
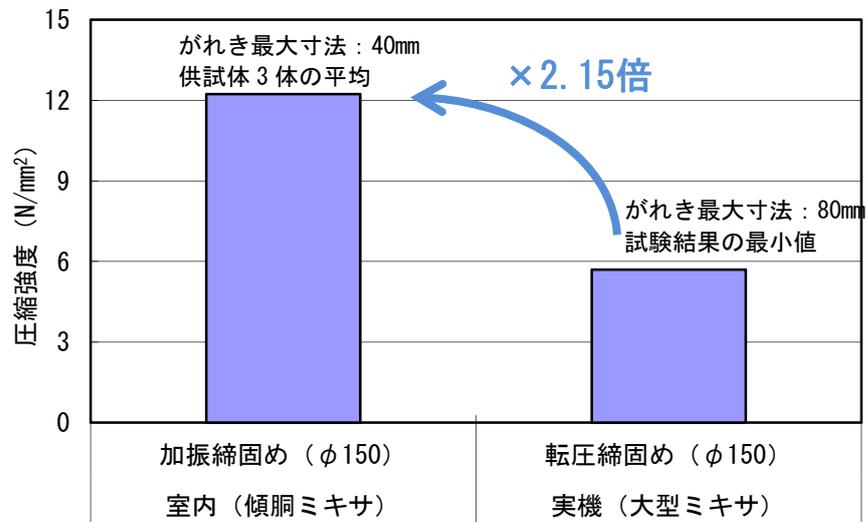


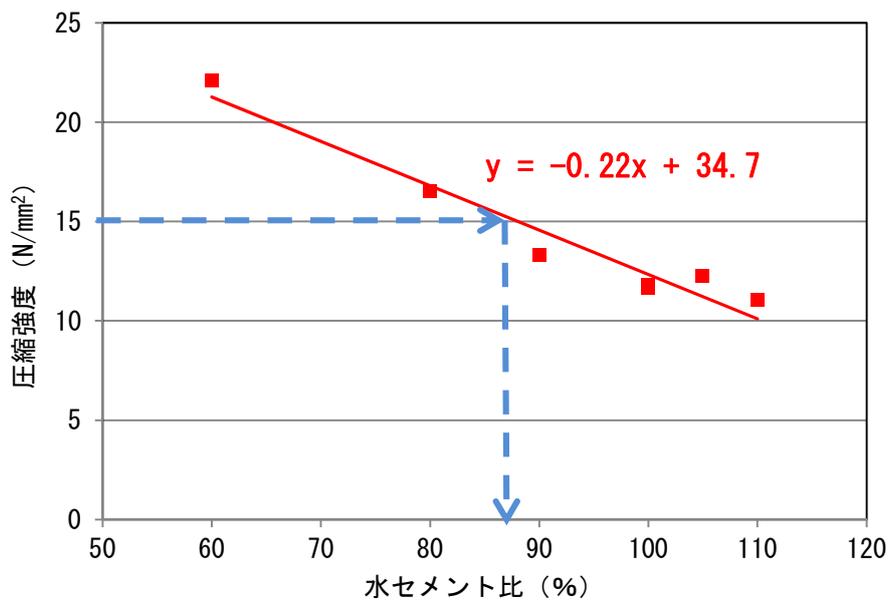
図-65 ②-1 水セメント比に基づく配合設計方法 (案)



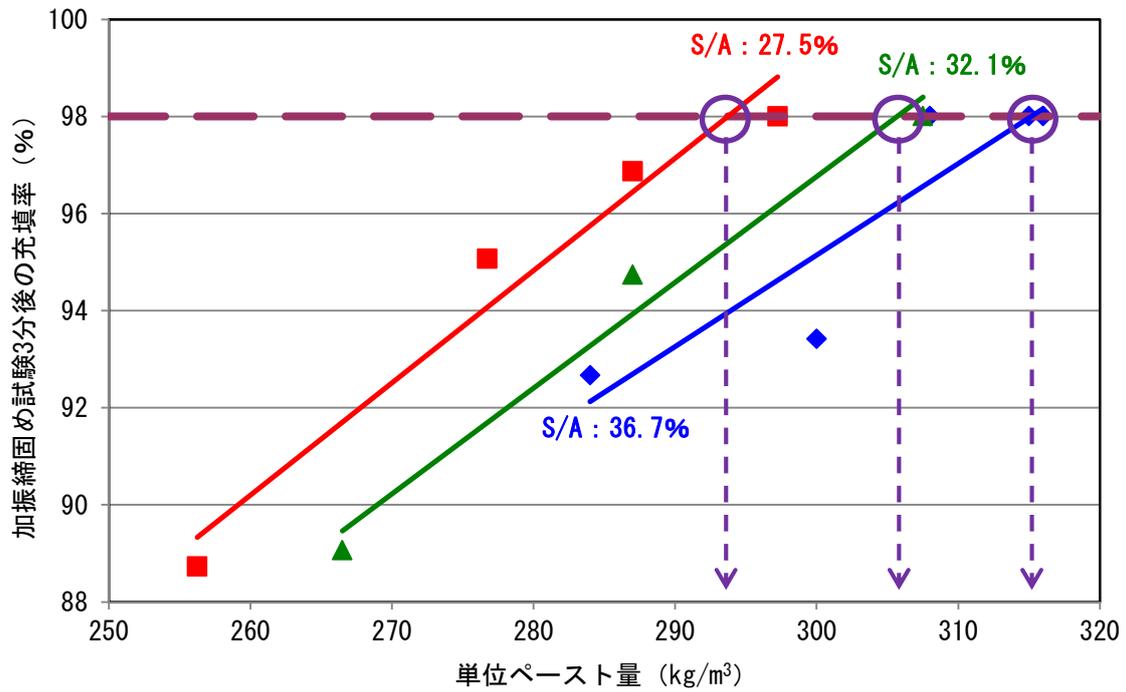
練混ぜ方法	室内 (傾胴ミキサ)	実機 (大型ミキサ)
締固め方法	加振締固め (φ150)	転圧締固め (φ150)
圧縮強度 (N/mm ²)	12.23	5.70
コアに対する強度比 (割増し係数)	2.15 ^{*1} (=12.23/5.70)	

*1 : 割増し係数 γ_a (実機転圧締固めコア供試体に対する室内加振締固め供試体の圧縮強度比)

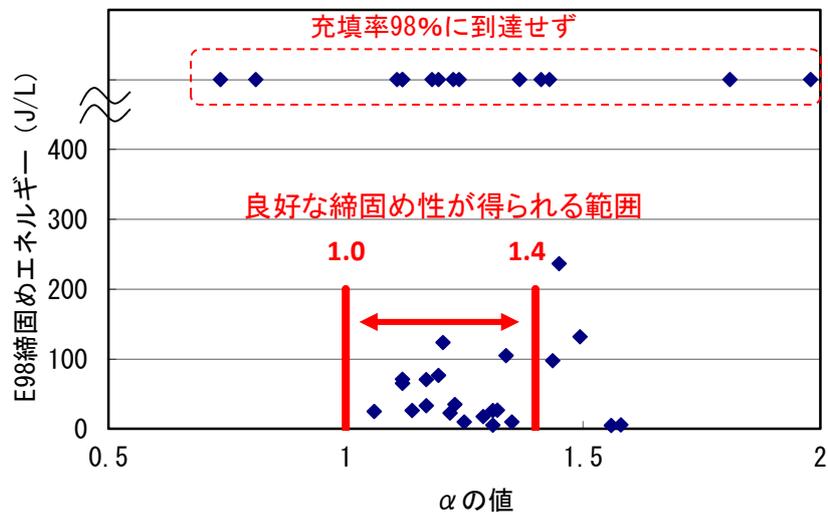
参考図-2 室内加振締固め供試体と実機転圧締固めコア供試体の圧縮強度の比較



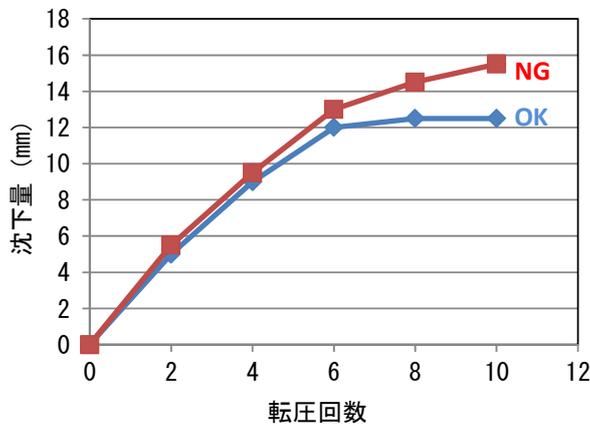
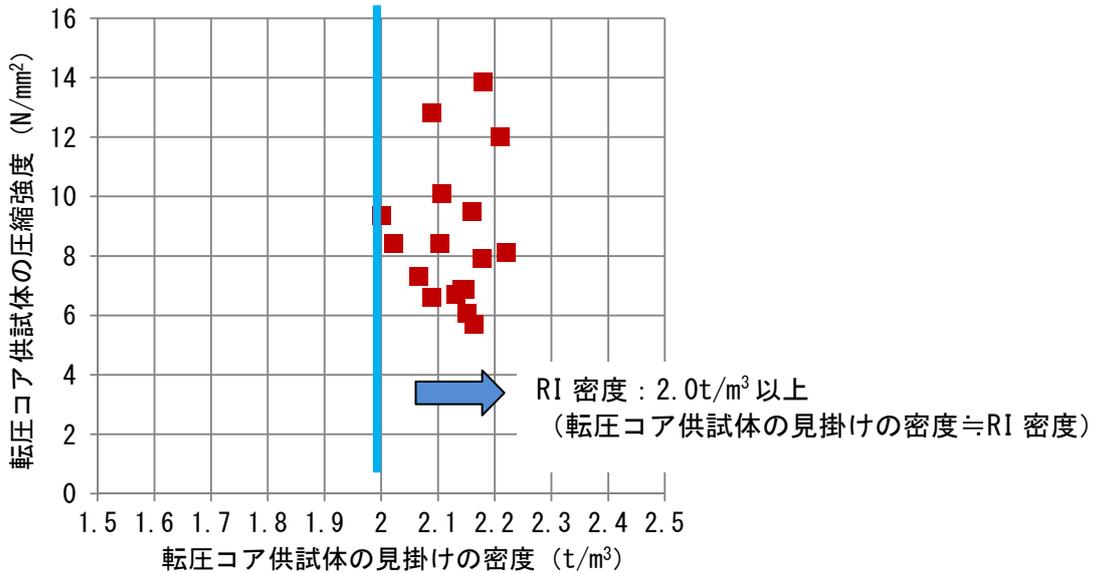
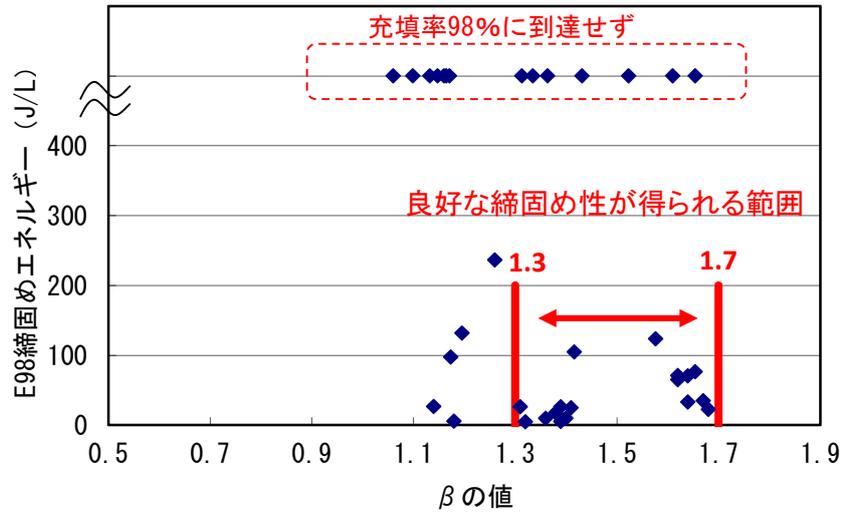
参考図-3 材齢 28 日における供試体の圧縮強度

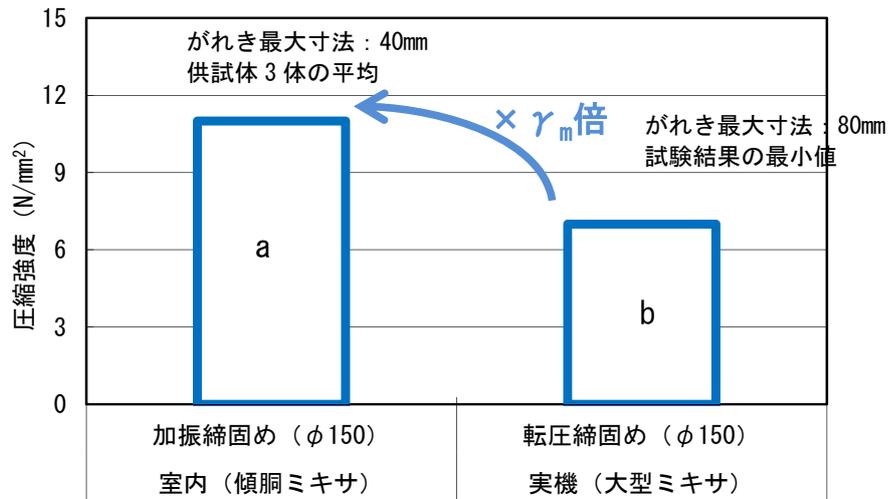


参考図-4 細骨材質量率ごとの単位ペースト量と加振締め充填率の関係



参考図-5 α の値と E98 締めエネルギーの関係

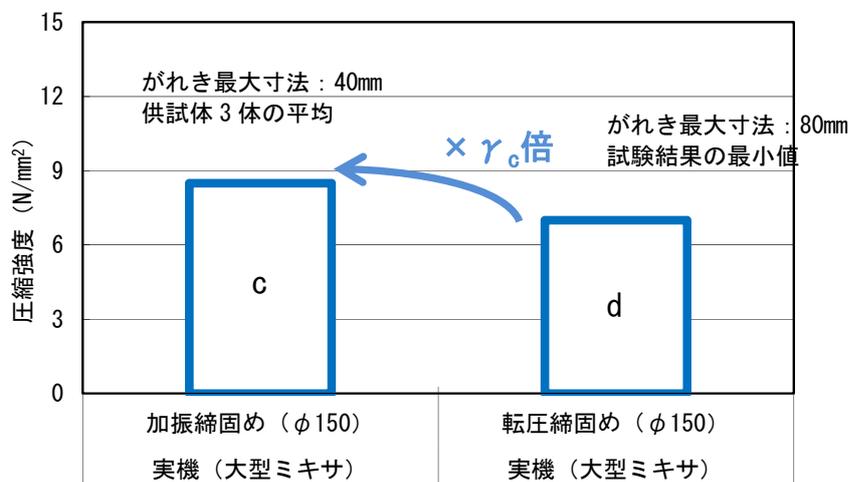




練混ぜ方法	室内 (傾胴ミキサ)	実機 (大型ミキサ)
締固め方法	加振締固め (φ150)	転圧締固め (φ150)
圧縮強度 (N/mm ²)	a	b
コアに対する強度比 (割増し係数)	γ_m^{*1} (=a/b)	

*1：割増し係数 γ_m (実機転圧締固めコア供試体に対する室内加振締固め供試体の圧縮強度比)

参考図-9 室内加振締固め供試体と実機転圧締固めコア供試体の圧縮強度の比較



練混ぜ方法	実機 (大型ミキサ)	実機 (大型ミキサ)
締固め方法	加振締固め (φ150)	転圧締固め (φ150)
圧縮強度 (N/mm ²)	c	d
コアに対する強度比 (割増し係数)	γ_c^{*1} (=c/d)	

*1：割増し係数 γ_c (実機転圧締固めコア供試体に対する実機加振締固め供試体の圧縮強度比)

参考図-10 実機加振締固め供試体と実機転圧締固めコア供試体の圧縮強度の比較

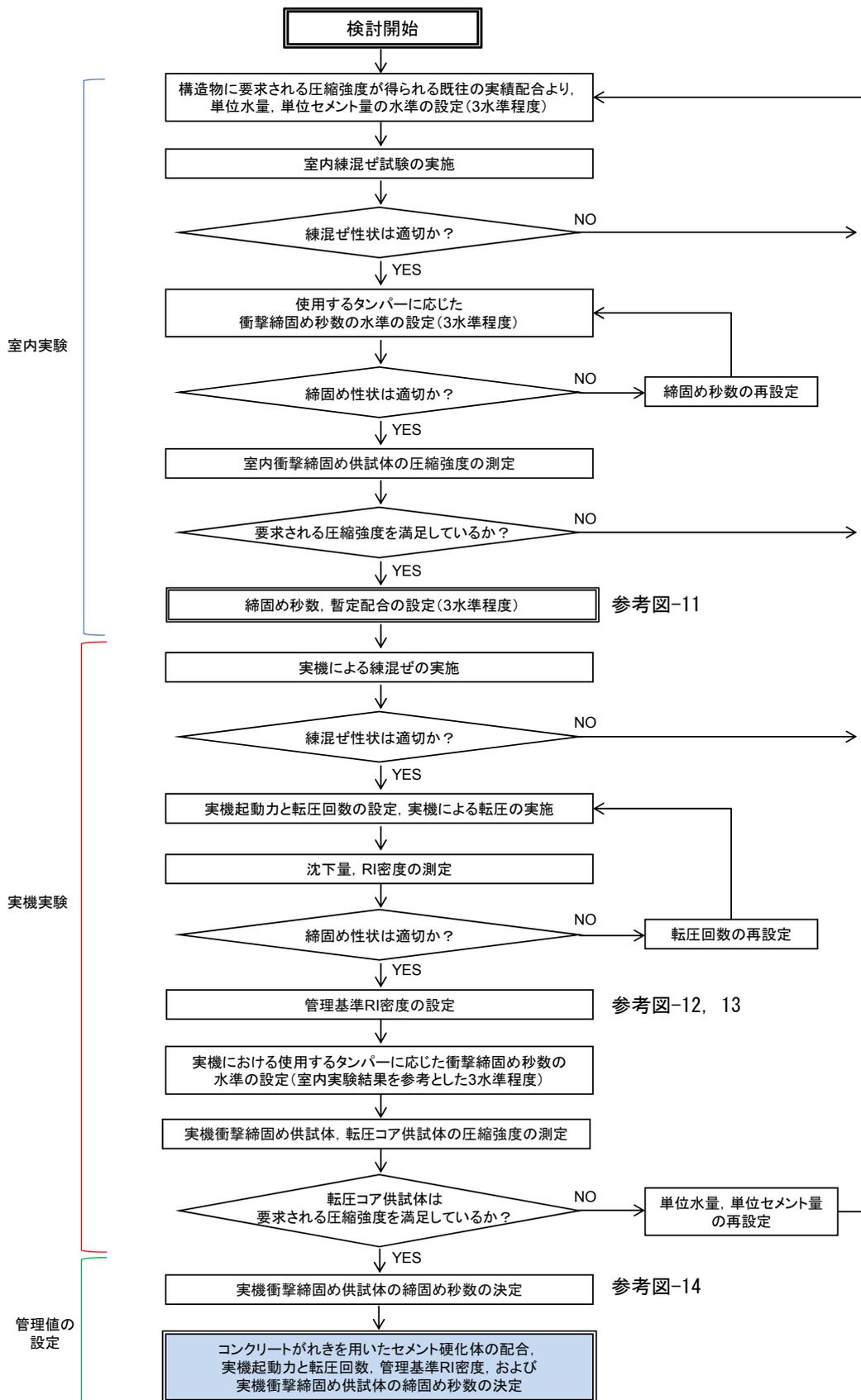
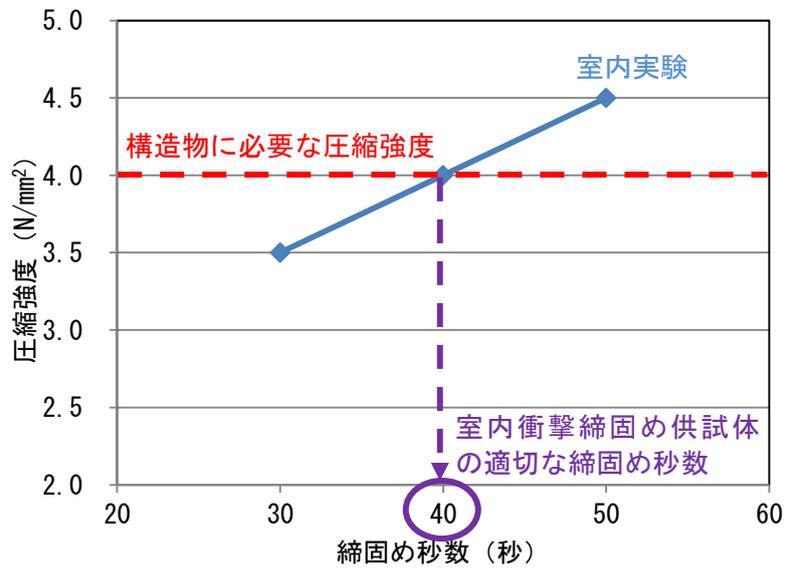
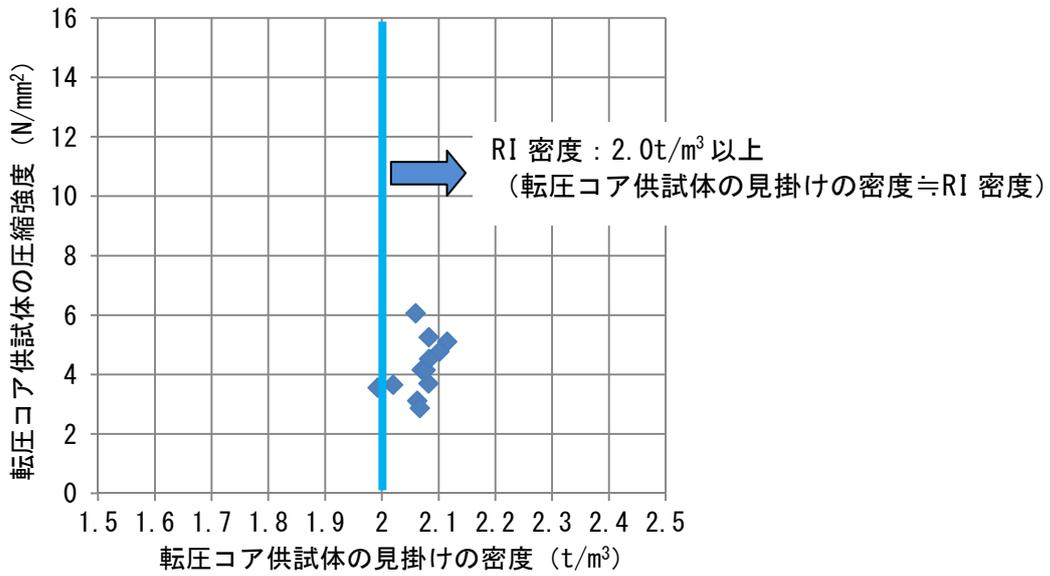


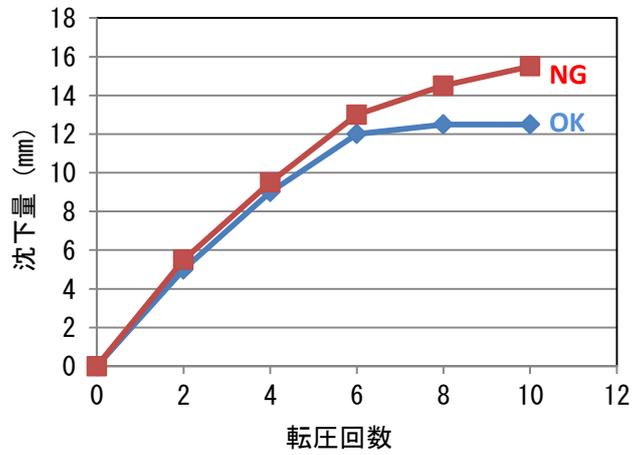
図-66 ②-2 水セメント比に基づかない配合設計方法 (案)



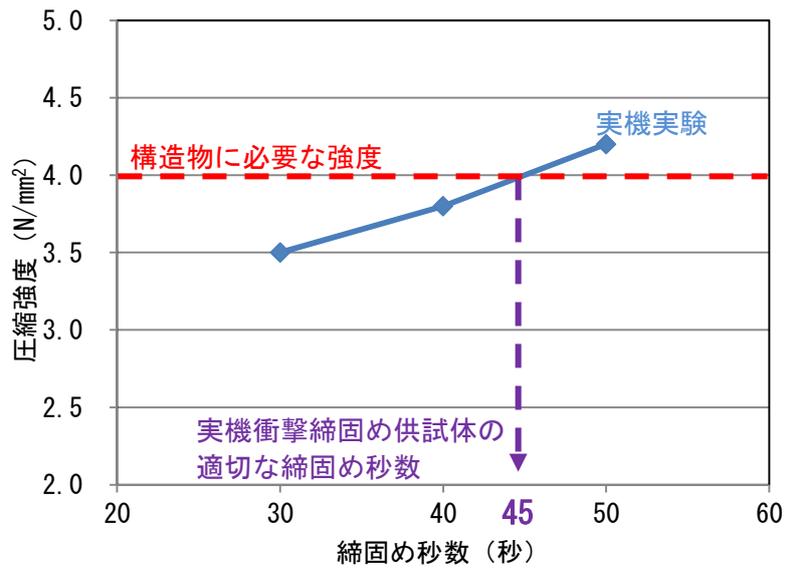
参考図-11 室内衝撃締固め供試体の最適締固め秒数



参考図-12 転圧コア供試体の見掛けの密度と圧縮強度の関係



参考図-13 転圧回数と沈下量の関係



参考図-14 実機衝撃締固め供試体の最適締固め秒数

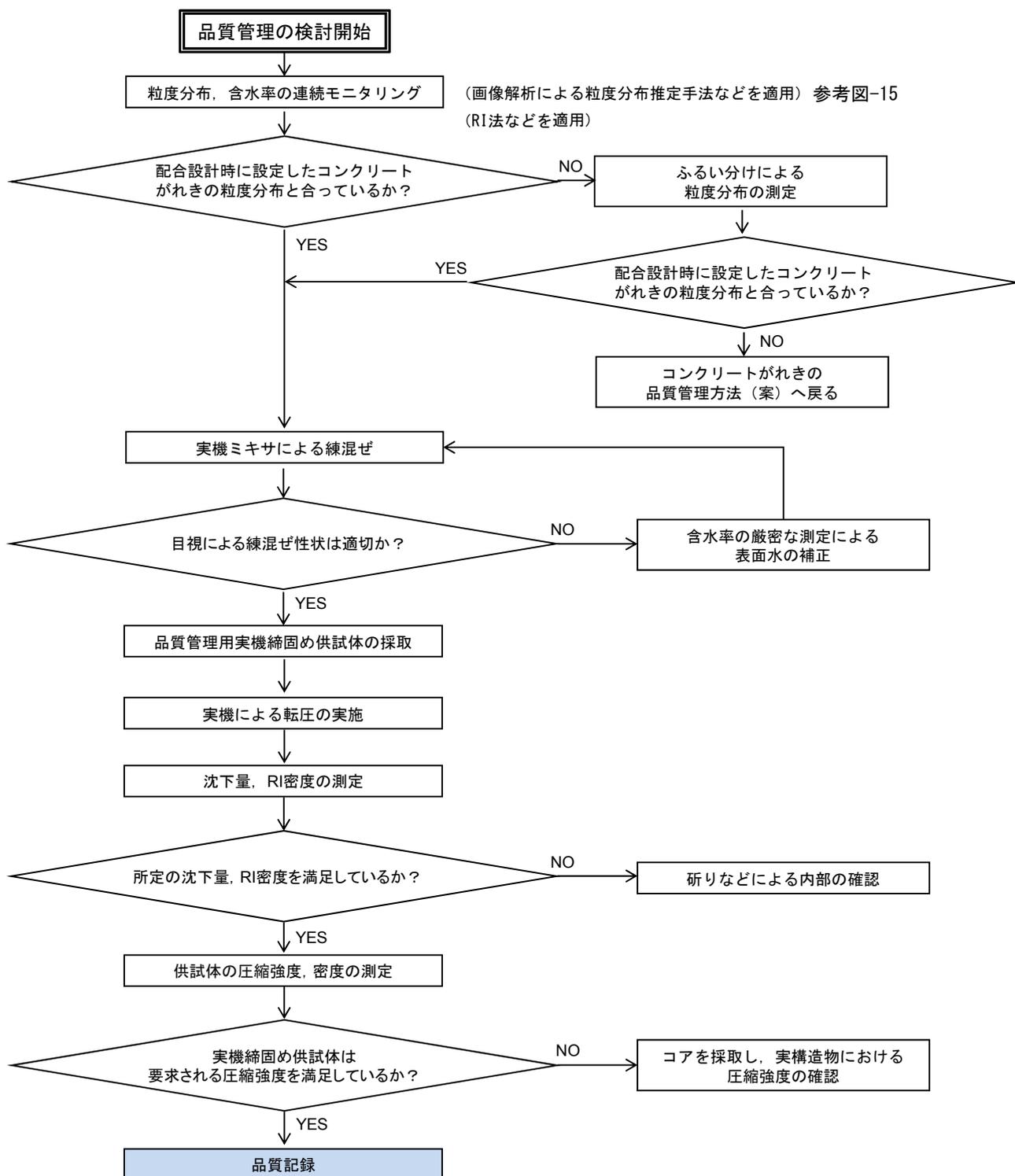
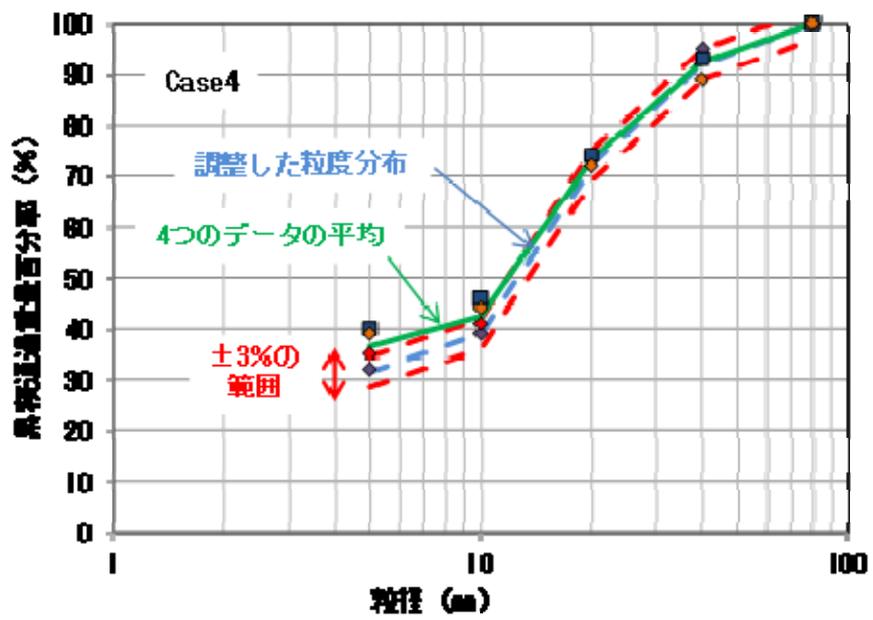


図-67 実施工における品質管理方法（案）



参考図-15 画像解析手法により求めたコンクリートがれきの粒度分布

7.5. まとめ

要素実験、実機実験を行って得られた知見に基づき、破碎後のコンクリートがれきにセメントと水を混合して、敷均し、転圧による施工をするための品質管理方法を確立した。以下にその要点を整理して述べる。

①材料試験の結果、破碎したコンクリートがれきは、粒径 0.075mm 以下の微粒分が 22.5%と多く含まれることがわかった。そのため、粒径が 5mm 以下のがれきの吸水率は 11.0%と高く、屋外に野積みして保管した場合の粒径 5mm 以下のがれきの含水率は 15~20%程度と高い状態であった。

②練混ぜ試験において、コンクリートがれきの含水率を正しく補正してセメントと水を混合し、加振締固め性試験を行って良好な充填性が得られる配合を選定すれば、コンクリートがれきを使用したセメント硬化体でも、水セメント比に応じた圧縮強度を発現することが確かめられた。

③実機実験では、加振締固め性が良好な配合と良好でない配合で練混ぜ、敷均し、転圧を行ったが、いずれの配合でも振動ローラーによる転圧では締固めが行えることが確認できた。

④要素実験（材料試験、練混ぜ試験、および強度試験）と実機実験の結果から、水セメント比に基づいて配合設計する場合、もしくは有害物質の溶出抑制の観点からセメント硬化体に密実さが要求される場合には、加振締固め性が良好な配合を選定すればよいことが確かめられた。一方、水セメント比に基づかないで配合設計する場合、もしくはセメント硬化体に密実さが要求されない場合には、従来のダム用コンクリートなどで行われている、タンピングにより整形する円柱供試体と転圧により製作する大型供試体から採取するコアの圧縮強度を比較して評価する方法に準じればよいと考えられた。ただし、タンピングによる方法での確認は本実験では実施していないため、要素実験や実機実験での確認が課題として残された。

⑤実験結果とその知見に基づいて、構造物に適用するための品質管理手法を提案した。ここでは、コンクリートがれきの破碎方法と粒度分布の管理方法、水セメント比に基づく配合設計の方法、水セメント比に基づかない配合設計の方法、および実施工における品質管理方法、についてとりまとめて提案した。

以上のとおり、破碎したコンクリートがれきにセメントと水を混合して用いるセメント硬化体について、実験により得られた知見に基づく製造方法と施工方法、ならびに品質管理手法を確立できたと考えられ、本技術開発の目的を満足する成果が得られた。

なお、本書で示した実験結果とこれに基づく知見は、岩手県釜石市において集積されているコンクリートがれきを用いて得られたものであるが、この成果は、以下の点に留意すれば、他の地域で発生したコンクリートがれきを用いる場合のセメント混合物の製造、施工、および品質管理方法にも、広く適用できると考えられる。以下に、実験により確認できた本技術の特徴と適用する際の留意点を記す。

【本技術の特徴】

①津波堆積物を含むコンクリートがれきを最大寸法 80mm 程度に破碎し、基本的に粒度調整を行わずにセメントと水を混合し、スランプが 0cm の超硬練りセメント混合物として、振動ローラーによる転圧締固めで施工することができる。これにより、所要の圧縮強度を有するセメント硬化体を得られる。

②使用するコンクリートがれきに含まれる 5mm 以下の細粒分の量が少ない場合、津波堆積物を積極的に加えることができ、津波堆積物も有効に活用することができる。

③本技術を適用するのに必要な、コンクリートがれきの破碎方法や配合設計方法を実験結果に基づいて整理し、品質管理方法としてとりまとめている。

【本技術を適用する際の留意点】

①コンクリートがれきに含まれる重金属などの有害物質の水への溶出量を測定し、国が定める環境基準に適合するコンクリートがれき、もしくはそれに適合するような処置を施したコンクリートがれきを使用する。

- ②セメント硬化体に含まれる、コンクリート以外のがれきの種類と量（例えば、木質がれき、金属がれきなど）を測定し、セメント硬化体としての利用において有害とならないことを確認する。
- ③破砕したコンクリートがれきには微粒分量が多く含まれ、吸水率も通常のコンクリート用骨材に比べて高いため、含水率も高くなる。そのため、セメント混合物を製造する際には含水率を正確に測定し、練混ぜ水量が所定のものとなるように、コンクリートがれきの含水率を適切に管理する。
- ④セメント混合物の配合選定方法には2通りの方法があり、締固め性試験による充填性の違いに基づく。完全充填できる配合は、要求される圧縮強度が比較的高い場合や有害物質の溶出が懸念される場合に適する。一方、完全充填できない配合は、要求される圧縮強度が比較的低い場合に適する。なお、後者の場合には、地盤改良土と同様な考え方で、土の三軸圧縮試験などにより得られる粘着力Cと内部摩擦角 ϕ に基づく配合設計アプローチも可能である。

8. 研究成果の刊行に関する一覧表

刊行書籍又は雑誌名（雑誌のときは雑誌名、巻号数、論文名）	刊行年月日	刊行書店名	執筆者氏名
【論文、報告、技術情報誌】 “コンクリート系がれきの有効利用技術”，平成24年度建設技術報告会	2012年10月31日	国土交通省北陸地方整備局	堀口賢一，丸屋剛
“特集 震災対応型技術開発公募の研究成果 コンクリートがれきの有効利用技術の開発”，建設リサイクル2012・秋号 Vol.61	2012年10月31日	財団法人 先端建設技術センター	丸屋剛，堀口賢一
“コンクリートがれきのセメント硬化体としての有効利用技術の開発”，第2回コンクリート技術大会	2012年11月9日	セメント新聞社	堀口賢一，古田敦史，松元淳一，江田正敏，丸屋剛
“東日本大震災で発生したコンクリートがれきの有効利用技術の開発”，大成建設技術センター報，第45号，2012	2012年12月1日	大成建設株式会社	堀口賢一，古田敦史，松元淳一，小泉政信，丸屋剛
“コンクリートがれきを用いたセメント硬化体の配合選定に関する実験的検討”，コンクリート工学年次大会2013	2013年7月9日（掲載予定）	社団法人 日本コンクリート工学会	松元淳一，堀口賢一，片山三郎，丸屋剛
“コンクリートがれきを用いたセメント硬化体の物性および施工性の評価”，コンクリート工学年次大会2013	2012年7月9日（掲載予定）	社団法人 日本コンクリート工学会	古田敦史，堀口賢一，松元淳一，丸屋剛
“コンクリートがれきを用いたセメント硬化体の配合選定方法について”，コンクリート工学年次大会2013，第68回土木学会年次学術講演会	2013年9月4日（掲載予定）	公益社団法人 土木学会	松元淳一，堀口賢一，坂本淳，丸屋剛

<p>“コンクリートがれきを用いたセメント硬化体の配合選定方法および品質管理方法”，大成建設技術センター報，第46号，2013</p>	<p>2013年12月 (投稿予定)</p>	<p>大成建設株式会社</p>	<p>松元淳一，堀口賢一，坂本淳，丸屋剛</p>
<p>【新聞発表】 「2011年度建設技術開発助成制度【震災対応型】課題採択」</p>	<p>2012年1月26日</p>	<p>建設通信新聞</p>	
<p>「コンクリートがれきを母材としたセメント硬化体利用技術の開発」</p>	<p>2012年3月12日</p>	<p>建設通信新聞</p>	
<p>「コンクリがれき 復興資材に活用 大成建設 被災地で実証」</p>	<p>2012年4月5日</p>	<p>日刊工業新聞</p>	
<p>「コンクリがれき 手間かけず再利用へ 大成建設 防潮堤など復興用途に」</p>	<p>2012年4月16日</p>	<p>建設工業新聞</p>	
<p>「コンクリがれき 破碎，再び固めて活用 大成建設 普通スペックに迫る強さ」</p>	<p>2012年5月4日</p>	<p>日刊工業新聞</p>	
<p>【シンポジウム】 “コンクリートがれきの有効利用技術”震災がれきと産業副産物のアロケーション最適化コンソーシアム技術講習会</p>	<p>2013年2月27日</p>	<p>震災がれきと産業副産物のアロケーション最適化コンソーシアム</p>	<p>丸屋剛</p>
<p>“コンクリートがれきのセメント硬化体としての有効利用技術”，震災がれきと産業副産物のアロケーション最適化コンソーシアム 技術シンポジウム</p>	<p>2013年6月 (掲載予定)</p>	<p>震災がれきと産業副産物のアロケーション最適化コンソーシアム</p>	<p>堀口賢一，松元淳一，丸屋剛</p>

9. 研究成果による知的財産権の出願・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
コンクリートの製造方法	特願 2013-229658	2012年 10月17日	—	堀口賢一, 古田敦史, 松元淳一

10. 成果の実用化の見通し

今回の技術開発では、震災で発生したコンクリートがれきについて、より実態に即したものをを用いて実験することとし、岩手県釜石市で集積されているコンクリートがれきを用い、同所にて試験体の製作実験を実施した。また、室内実験と実機実験に用いたコンクリートがれきの破碎には、実際の施工に用いられる移動式破碎機を使用した。さらに実機実験におけるセメント硬化体の製造には、移動式ミキサや振動ローラーなどの重機を用いて、100m²程度の施工実験も行った。このことから、実用化と遜色ない実験が行えたと考えている。

ただし、コンクリートがれきは、従来からの処理方法もあることから、比較的順調に処理が進められている。一方、砂や粘土など粒度の細かい津波堆積物は、その処理が遅々として進んでいないのが現状である。本技術は、コンクリートがれきにセメントと水を混合して利用するものであるが、通常のコンクリートと同様にある程度の細粒分を含むことが必要であるため、この細粒分として津波堆積物を積極的に活用することも考えられる。このような観点から、本技術をコンクリートがれきのみならず、津波堆積物の有効利用技術としても広く活用されるように技術の展開を図りたい。

11. その他 なし

(注)

1. 用紙の大きさは、日本工業規格で定める A 列 4 とし、縦位置左綴とすること。
各項目の記入にあたっては、数字、図表等を用いて詳細に説明すること。記入量に応じて、適宜、欄を引き伸ばして差し支えない。
2. 「課題番号」について
交付決定通知に示された課題番号を記入すること。
3. 「研究課題名」について
平成 年度建設技術研究開発費補助金交付申請書に記載した研究課題名を記入すること。
4. 「研究期間」について
当該研究課題について補助金が交付された期間（年度）を記入すること。
5. 「代表者及び研究代表者、共同研究者」について
 - (1) 「代表者は 1 人又は 1 法人を記入すること。研究代表者は 1 人を記入すること。共同研究者は、研究に参加している者全てを記入すること。
 - (2) 研究組織の変更により代表者又は研究代表者を交替している場合は、交替後の研究者名を記入すること。
6. 「7. 研究・技術開発の内容と成果」について
 - (1) 当該研究期間に行った研究によって得られた成果を、各年度の交付申請書の「研究・技術開発の目的及び目標」「本年度の実施計画」と対比させてわかりやすく記入すること。
 - (2) 主要な研究方法、手段等の経過を詳細に記入すること。
7. 「8. 研究成果の刊行に関する一覧表」について
 - (1) 記入した書籍又は雑誌については、その刊行物又は別刷り一部を添付すること。
8. 「9. 研究成果による知的財産権の出願・取得状況」

(1) 説明上必要な書類を、適宜、添付すること。

9. 「10. 成果の実用化の見通し」について

(1) 研究・技術開発の成果による実用化について、具体的な計画がある場合にはその内容を記載すること。

