

論文 高強度コンクリートの粗骨材の品質判定法に関する研究

柳井修司*¹・大野俊夫*²・瀬戸謙一郎*¹・アグス・サントーサ・スジョノ*³

要旨：著者らは圧縮強度が 100N/mm^2 を超える高強度コンクリートを対象に、粗骨材の品質の適否を早期に判定する手法として、短時間に高強度を達成できる基準モルタルと粗骨材とを組み合わせたコンクリートの圧縮強度により判定する方法を検討している。今回、数種類の粗骨材を取り上げて実験を行った結果、本手法により、高強度コンクリート用粗骨材としての品質とその適否を骨材強度と付着性能をあわせて短期間に判定できることが明らかとなった。

キーワード：高強度コンクリート，粗骨材，品質評価，圧縮強度，促進養生

1. はじめに

近年、PC斜張橋、LNG地下タンク、超高層ビル等においてコンクリート構造物の大型化が進み、特に圧縮荷重が卓越する部材では、コンクリートの高強度化のニーズが高まってきている。高強度コンクリートの特性を理解し、合理的な設計を行えば、全体工事費の低減に結びつくことも少なくない。コンクリートの高強度化に関する研究は古くから行われているが、近年の高ビークライト系ポルトランドセメントや高性能AE減水剤の開発により、低水セメント比のコンクリートの製造が容易になりつつある。著者らも地下連続壁を対象にコンクリート強度が 100N/mm^2 レベルの高強度コンクリートの開発を行い[1]、実工事への適用段階に入っている。

高強度コンクリートにおいては、粗骨材や細骨材の品質がコンクリートの圧縮強度に大きく影響することが知られており、 100N/mm^2 レベル以上の高強度を確保するためには良質の骨材を選定することが必要不可欠であり、したがって骨材の品質を合理的かつ迅速に判定する技術の確立が重要である。コンクリート用骨材としての適合性を判定する手法としては、比重、吸水率、破碎値、岩石強度などの骨材の物理的性質から判定する方法と、対象とする骨材を用いたコンクリートの圧縮強度から判定する方法に大別される。

著者らは後者に類する方法として、短期間に $100\sim 150\text{N/mm}^2$ の高強度を発現する基準モルタルと評価対象粗骨材からなるコンクリートを 70°C 温水養生（以下促進養生と記す）することによって、粗骨材の品質を早期に判定する試験方法について検討を行ってきている[2]。本報文は、数種類の粗骨材を対象に試験を行い、粗骨材種類、粗骨材混入量、養生方法の観点から本試験方法の適用性について検討したものである。

2. 基準モルタル

表-1に、既報[2]において提案した基準モルタルの使用材料を示す。結合材は、低水セメント比領域においても高い流動性が得られる高ビークライト系のポルトランドセメントを使用し、細骨材はモルタルの強度が安定するように、相馬産硅砂を土木学会のRC示方書に示されている細

* 1 鹿島建設（株）技術研究所 第二研究部 研究員，工修（正会員）

* 2 鹿島建設（株）技術研究所 第二研究部 主任研究員（正会員）

* 3 鹿島建設（株）技術研究所 第二研究部 研修員，工修

骨材の標準粒度分布に入るように混合して使用した。

表-2に基準モルタルの配合を示す。粗骨材の品質をコンクリートの圧縮強度をもとに迅速に判定するためには、基準モルタルの強度はできるだけ短期間でコンクリートの要求強度以上に達する必要がある。これに合致するように、基準モルタルの水セメント比は20%とし、所定の促進養生(70℃温水養生)を

行うことにより、圧縮強度は材齢1日で約100N/mm²、3日で150N/mm²以上を示す。モルタルのコンシステンシーは、粗骨材を混入した後のコンクリートとしての流動性を確保するために、スランプフローで目標値を80±10cmとし、高性能A/E減水剤の添加量で調整した。空気量は3.0±1.0%となるように消泡剤の添加量で調整した。

表-1 基準モルタルの使用材料

	種類	備考
結合材	ハイライト高含有セメント	T社製, 比重: 3.22, C ₂ S=56%
細骨材	相馬産珪砂	3号:4号:9号=7:4:9で混合 (粒度分布は土木学会示方書に準拠) 比重: 2.59, 吸水率: 0.72%
混和剤	高性能A/E減水剤	F社製, ポリカルボン酸系
	消泡剤	K社製, シリコン系

表-2 基準モルタルの配合

W/C (%)	スランプフロー (cm)	空気量 (%)	単体量(kg/m ³)			S/P剤 (C×%)	消泡剤
			W	C	S		
20.0	80±10	3±1	267	1335	747	1.5~1.7	0.05

3. 試験概要

3.1 試験の対象とした粗骨材

粗骨材は、コンクリート用砕石として国内需要が多い硬質砂岩、安山岩、及び近年需要量が大幅に増加している石灰岩3種類と、川砂利2種類(比重及び吸水率が異なるもの)の計7種類を取り上げた。粗骨材最大寸法は20mmで、いずれも土木学会RC示方書の標準粒度分布の範囲にある。

3.2 骨材試験

骨材試験の項目は、コンクリート強度への影響が大きいといわれている比重、吸水率、単位容積質量、破砕値を取り上げ、また、砕石については原石からコアを採取し、圧縮強度、静弾性係数を測定した。

3.3 コンクリート試験

(1) 試験ケース

試験ケースは表-3に示すとおりであり、粗骨材の種類と混入量を要因

とした。粗骨材

混入量は高強度

コンクリートで

通常使われている

範囲の300, 3

50, 400ℓ/m³に

変化させた。本試験では、供試体の養生は促進養生を原則としたが、70℃温水養生がコンクリートの強度発現に及ぼす影響を確認するため、20℃標準養生も実施した。表-4にコンクリートの

表-3 試験ケース

	試験ケース		
	粗骨材混入量(ℓ/m ³)		
	300	350	400
硬質砂岩	○	○	○
安山岩	○	○	○
石灰岩1	○	○	○
石灰岩2	—	○	—
石灰岩3	—	○	—
川砂利1	○	○	○
川砂利2	○	○	○

表-4 コンクリートの配合例

骨材種類	Gvol (ℓ)	W/C (%)	s/a (%)	空気量 (%)	単体量(kg/m ³)				S/P剤 (C×%)	消泡剤
					W	C	S	G		
硬質砂岩	300	20.0	40.3	2±1	187	935	525	798	1.7	0.05
	350		35.3		174	870	481	931		
	400		30.0		160	800	444	1064		

配合の代表として硬質砂岩を使用した例を示す。

(2) 供試体作製方法

コンクリートの練混ぜは、基準モルタルを7分間練り混ぜた後、粗骨材を投入してさらに2分間練り混ぜる方法とした。練混ぜには水平2軸強制練りミキサ(100ℓ, 60rpm)を使用し、練混ぜ量は80ℓとした。練混ぜ終了後、アルミ製簡易型枠(φ10×20cm)内に突き棒を用いて締め固めた。促進養生供試体は作製後直ちにポリエチレン袋で供試体上部を包んで封緘し、20℃・60%の恒温恒湿条件室内で8時間前養生を行い、続いて型枠をつけたまま70℃の温水中に浸漬した。促進養生、標準養生いずれの供試体も所定材齢まで養生を行った後、脱型して機械研磨による端面処理を行い、圧縮強度試験に供した。また、各粗骨材を用いてコンクリートを練り混ぜるごとに、基準モルタル供試体(φ10×20cm)も作製し、コンクリートと同様に促進養生と標準養生を行って圧縮強度試験を実施した。

(3) 試験項目

試験項目は、フレッシュコンクリートに関してスランプフロー試験、空気量試験、単位容積質量試験であり、また、上記したように促進養生、標準養生の圧縮強度試験である。圧縮強度試験の材齢は促進養生で1, 2, 3, 7日、標準養生で28, 91日である。

4. 試験結果及び考察

4.1 骨材試験

表-5に骨材試験結果を示す。川砂利2は他の骨材に比べて、比重が小さく、吸水率が大きいものであった。破碎値は小さい順に川砂利1, 硬質砂岩, 川砂利2, 安山岩, 石灰岩2, 石灰岩1, 石灰岩3であり、総じて丸みを帯びた川砂利の方が碎石に比べて破碎値が小さい傾向にあった。

図-1に骨材の破碎値とそれらを350ℓ/m³用いたコンクリートの標準養生91日強度

との関係を示す。川砂利を用いた場合には、破碎値が小さい方が高い圧縮強度を示す結果となった。しかしながら、川砂利、碎石を含めた場合には破碎値と圧縮強度には明瞭な関係は見られず、破碎値のみによって高強度コンクリート用骨材としての適否を判定することは難しいといえる。

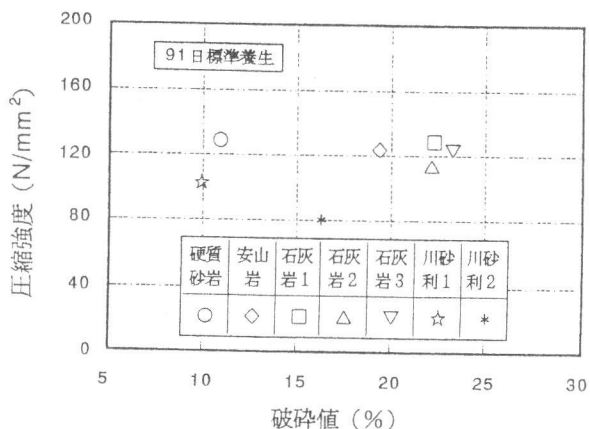


図-1 破碎値と圧縮強度

表-5 骨材試験結果

粗骨材種類	産地	表乾比重	絶乾比重	吸水率 (%)	粗粒率	実積率 (%)	単位容積質量 (kg/m ³)	破碎値 (%)	原石	
									圧縮強度 (N/mm ²)	静弾性係数 (X10 ⁴ N/mm ²)
硬質砂岩	八王子	2.66	2.64	0.90	6.60	60.7	1599	10.9	122	7.51
安山岩	蓼科	2.68	2.62	2.37	7.06	61.8	1616	19.3	191	3.88
石灰岩1	鳥形山	2.70	2.69	0.30	6.40	65.1	1754	22.2	74.0	5.40
石灰岩2	八戸	2.70	2.69	0.46	6.22	67.7	1815	22.1	98.3	7.06
石灰岩3	津久見	2.71	2.70	0.27	6.17	67.7	1670	23.1	120	6.82
川砂利1	神栖	2.63	2.60	1.04	6.60	64.7	1723	9.9	-	-
川砂利2	吉川	2.49	2.39	4.36	7.18	60.3	1540	16.2	-	-

4. 2 コンクリート試験

(1) フレッシュコンクリート

図-2に各種粗骨材を用いたコンクリートのスランプフローの試験結果を基準モルタルのそれと比較して示す。いずれの場合においても基準モルタルのスランプフローは 80 ± 10 cmの範囲であり、粗骨材混入量の増加に伴ってスランプフローは減少した。また、コンクリートの空気量は1.2~2.6%の範囲であった。

(2) 促進養生を行った場合の粗骨材の種類の影響

図-3に材齢と促進養生した供試体の圧縮強度の関係を示す。粗骨材混入量は 350 l/m^3 である。粗骨材の種類によってコンクリート強度に差が生じており、材齢7日のコンクリート強度は小さい順に、川砂利2、川砂利1、石灰岩2、石灰岩3、硬質砂岩、安山岩、石灰岩1である。特に川砂利2では他の骨材に比べて強度が小さく、材齢3日で 70 N/mm^2 程度であり、以後の強度増進も小さかった。これに対し、砂岩、安山岩、石灰岩などの砕石は材齢7日で約 120 N/mm^2 が得られ、圧縮強度の増進も良好であったことから、 120 N/mm^2 以上のコンクリートへも適用できる骨材であると判断できる。

図-4に粗骨材ごとのコンクリート強度(f_c)の基準モルタル強度(f_m)に対する比(f_c/f_m)を示す。本試験においては、 f_c/f_m の値は0.5~0.9の範囲であり、いずれの場合においても基準モルタルの強度がコンクリートの強度を上回ったことから、この基準モルタルを用いたコンクリートの圧縮強度によって粗骨材の品質を総合的に評価できると考えられる。 f_c/f_m の値は材齢に伴って単調に増加あるいは減少する傾向は認められず、各骨材において特有の値を示しており、材齢7日において砕石が平均0.77、川砂利1が0.68、川砂利2が0.49で、川砂利2が特に小さい値となっている。このことから骨材の種類によってコンクリートが達成できる強度の限界が異なることが分かる。

写真-1に石灰岩1、川砂利1、川砂利2を用いた促進養生7日の供試体の破壊面の状況を示す。石灰岩1は骨材表面が粗く、モルタルとの付着が良好であり、また、原石の強度が基準モル

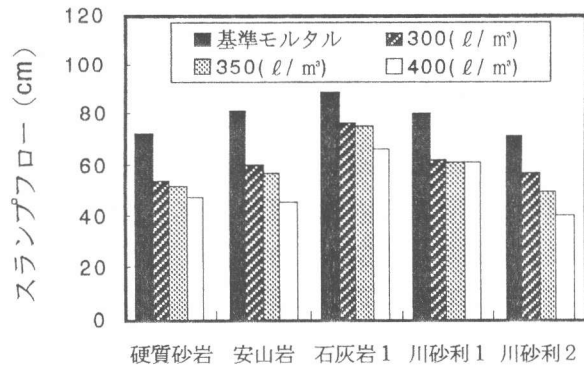


図-2 粗骨材量とスランプフロー

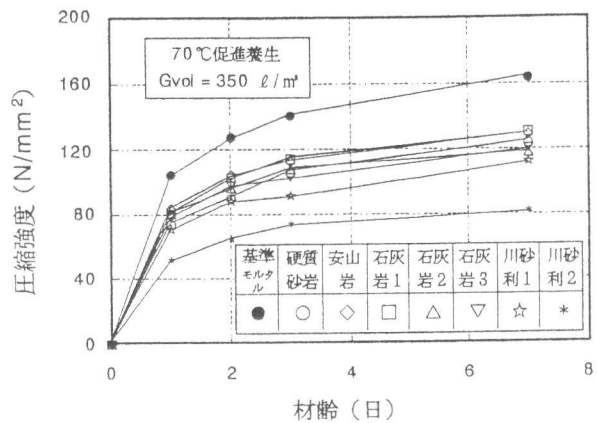


図-3 材齢と圧縮強度 (促進養生)

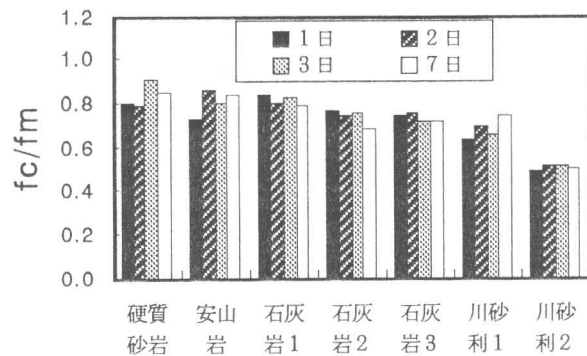


図-4 粗骨材種類と f_c/f_m

タルの強度よりも小さいことから、骨材自身の破壊が多くみられた。これに対し、川砂利1は骨材表面が丸みを帯びており、モルタルとの付着が十分でないため、骨材とモルタルとの付着界面での破壊

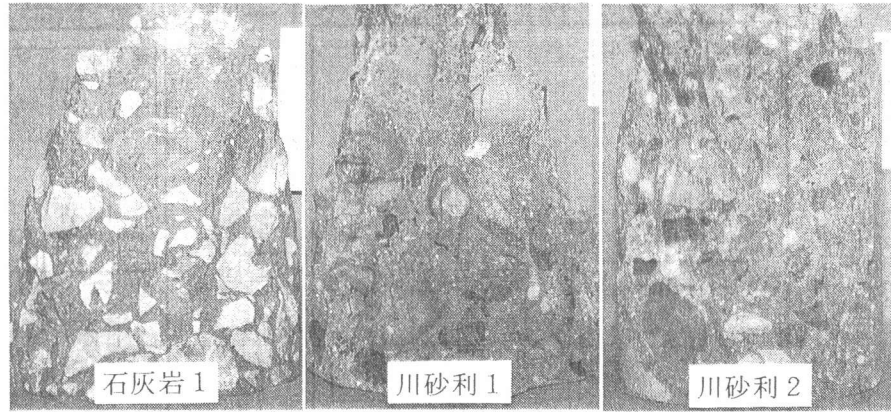


写真-1 供試体の破壊面

が多くみられた。また、川砂利2は吸水率が大きく骨材自身の強度が小さいと考えられ、さらにモルタルとの付着も十分でないため、骨材自身の破壊と界面での破壊が混在していた。このように、粗骨材の種類によってコンクリートの破壊形態が異なり、コンクリートの圧縮強度試験によって骨材強度のみでなく、骨材とモルタルとの付着強度もあわせて把握することができる。

(3) 粗骨材混入量の影響

図-5に石灰岩1、川砂利1、川砂利2における促進養生7日と標準養生91日の圧縮強度について、モルタル容積比 $((1,000 \ell - \text{粗骨材量}) / 1,000 \ell)$ との関係を示す。同図から、石灰岩1及び川砂利1と川砂利2では傾向が異なり、川砂利2では粗骨材混入量の増加に伴うコンクリート強度の低下が比較的明瞭である。このことは、川砂利2は吸水率が大きく、骨材内部に欠陥を多く持ち、付着性能にも劣るため、粗骨材混入量の増加によってコンクリート中にその破壊を支配する潜在的な欠陥が増加することが理由であると考えられる。

(4) 促進養生と標準養生との比較

図-6に促進養生3日と標準養生28日の圧縮強度の関係、促進養生7日と標準養生91日の圧縮強度の関係を示す。基準モルタルの圧縮強度は促進養生の方が標準養生に比べて大きくなっているものの、骨材を混入したコンクリートでは、二つの関係はほぼ1:1の対応を示し、両者の間には高い相関性(相関係数 $R =$

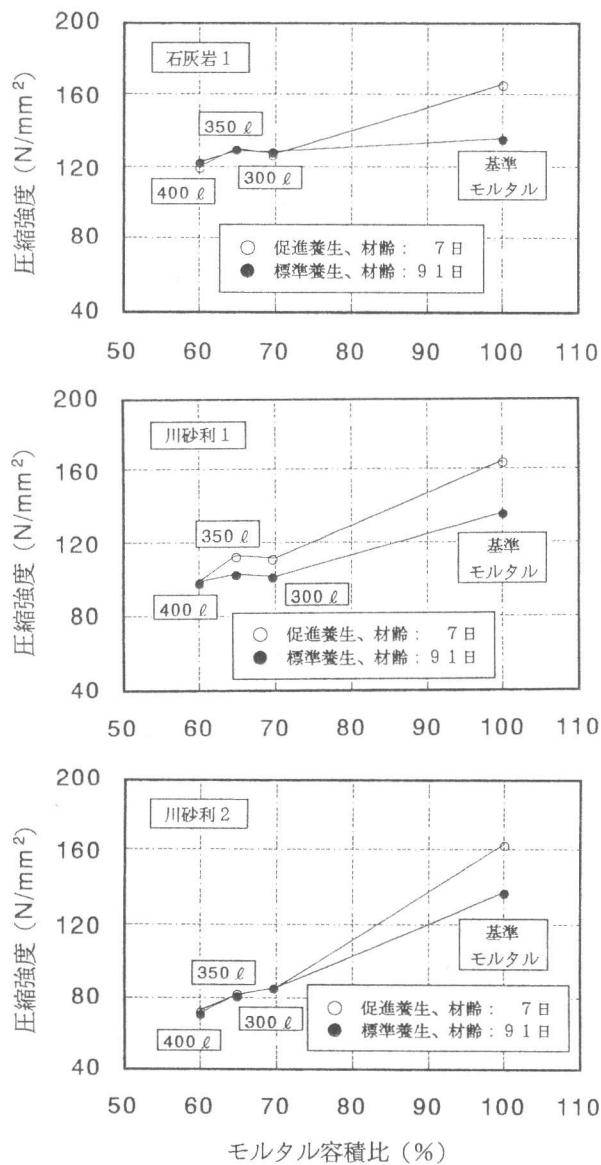


図-5 モルタル容積比と圧縮強度

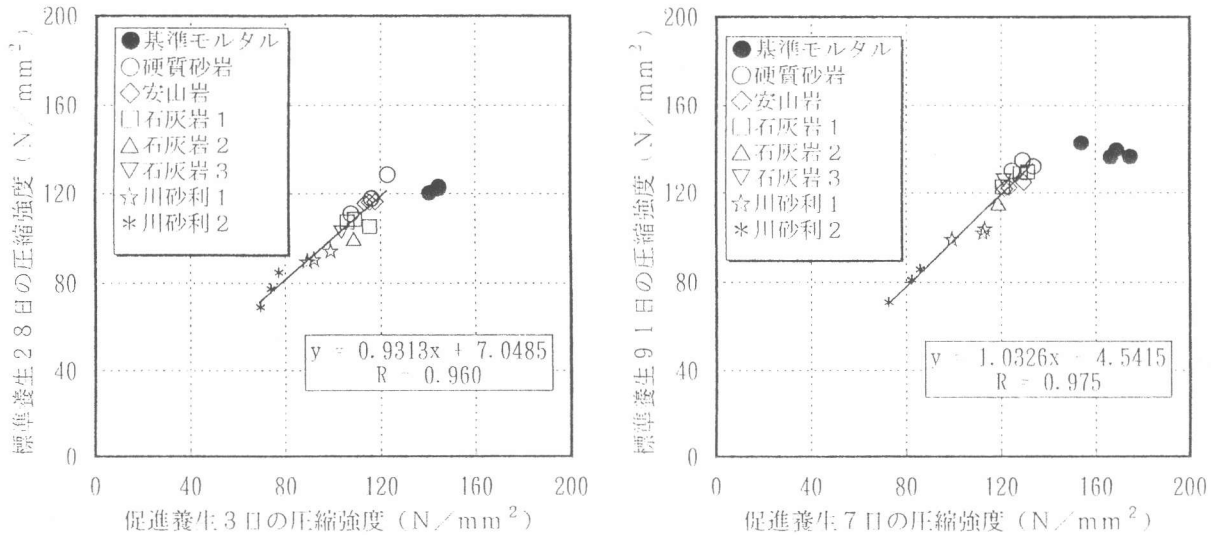


図-6 促進養生と標準養生の圧縮強度の比較

0.96及び0.98, 基準モルタルは除く) が認められる。このことから, 70℃温水養生は標準養生の場合に比べて, 骨材を混入したことによる強度低下が大きいものの, 骨材品質の相対的な評価には悪影響を及ぼしていないと考えられる。促進養生において粗骨材を混入したことによる強度低下が大きくなった理由としては, ①同じ促進養生でもモルタルの方がコンクリートに比べて強度発現の促進効果が大きい, あるいは, ②コンクリートでは骨材とモルタルマトリクスで線膨張係数が異なることから, 70℃温水養生を施すことにより界面にわずかな欠陥が生じる, などによると推測されるが, 詳細は今後の検討課題である。

5. まとめ

圧縮強度が100N/mm²を超える高強度コンクリートを対象として, 基準モルタルと粗骨材とを組み合わせたコンクリートの圧縮強度により, 粗骨材の品質を早期に判定する手法について検討した。本手法によれば, 高強度コンクリート用粗骨材としての品質とその適否を, 骨材自身の強弱ば

表-6 粗骨材の早期品質判定法

材料	結合材: ビーライトセメント 細骨材: 相馬産珪砂(粒度分布は土木学会示方書に準拠) 混和材: ポリカルボン酸系高性能AE減水剤 粗骨材: 評価対象粗骨材
配合	基準モルタル (W/C = 20%) + スランプフロー: 80±10cm 評価対象粗骨材 (300~400ℓ/m ³)
練混ぜ方法	練り混ぜ: 強制2軸ミキサ 練混ぜ時間: モルタル(7分)+粗骨材(2分); 合計9分
締固め法	突き棒による方法 (JIS A 1132)
養生方法	20℃ (8時間) + 70℃温水 (所定材齢)
試験方法	圧縮強度試験 (JIS A 1108)

かりでなく, モルタルとの付着性能も含めて短時間で判定することが可能であり, 本手法が粗骨材の早期品質判定法として有効な手法であることが明らかとなった。

表-6に高強度コンクリートを対象とした粗骨材の早期品質判定法を提案する。

参考文献

- [1] 大友忠典・信田佳延・横関康祐・瀬戸謙一郎・田沢雄二郎: 高性能地下連続壁のコンクリートの実大規模実証実験, 鹿島技術研究所年報, Vol. 42, pp. 35-40, 1994. 10
- [2] 山本明雄・瀬戸謙一郎・片桐冬樹・大友忠典: 高強度コンクリートの粗骨材品質判定法に用いる基準モルタルの検討, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 17-1, pp. 1019-1024