

論文

[1008] AE減水剤および高性能減水剤を用いた  
低品質骨材コンクリートの性質

正会員 ○ 河野 清 (徳島大学工学部)

正会員 堀井克章 (阿南工業高等専門学校)

阿部真仁 (徳島県土木部)

岡野泰典 (清水建設(株)四国支店)

1. まえがき

骨材は、コンクリート容積の約70%を占めているので、その品質がコンクリートの諸性質に影響を与える。品質の良い骨材を使用することが、良いコンクリートをつくる基本であるが、近年、良品質の河川産骨材の入手が困難となり、粗骨材として砕石が、細骨材として海砂、山砂、砕砂などが盛んに使用され、それとともに、骨材の低品質化の傾向が指摘され、それに対する対応が必要となっている<sup>1)</sup>。骨材の低品質化は、(1)比重、吸水率など物性値の低下 (2)粒形・粒度の悪化 (3)泥土、塩分、軟石などの存在 (4)反応性骨材の出現などにわけることができる。

最近、四国地方でも原石の採取場所によっては、比重、吸水率などの劣る砕石、砕砂などが産出されるケースがあり、JIS A 5005に不合格の砕石を用いた硬練りコンクリートの諸性質に及ぼす影響についてすでに報告した<sup>2)</sup>。しかし、骨材は貴重な資源であり、混和剤と併用するなどして有効に利用して行く方法を検討する必要がある。

そこで、本研究では、比重や吸水率の劣る低品質の砕石や砕砂を良品質の砕石や川砂と組み合わせ用い、AE減水剤や高性能減水剤を添加し、セメント水比と28日強度との関係、材令6カ月にわたる圧縮強度、引張強度、動弾性係数、乾燥収縮などに及ぼす影響について検討を行った。

2. 実験の概要

2.1 使用材料

セメントは、比重3.15、28日圧縮強さ424kgf/cm<sup>2</sup>の普通ポルトランドセメントを用いた。

粗骨材は、徳島県阿波郡市場町産の硬質砂岩系砕石で、吸水率の大きい

低品質砕石と比較用に吸水率の小さい良品質砕石とを使用した。一方、細骨材は、低品質砂として同市場町産の砕砂を、良品質のものとしては徳島県吉野川産の川砂を使用した。これらの使用骨材の主な物理試験結果を表-1に示す。低品質骨材は、JIS A 5004 "コンクリート用砕砂" およびJIS A 5005 "コンクリート用砕石" の吸水率規定にいずれも不合格のものである。

混和剤は、AE減水剤としてリグニンスルホン酸塩系のもの、高性能減水剤としてナフタリンスルホン酸塩系のものを用い、空気量調整のためにAE助剤を加えた。

2.2 コンクリートの配合

実験に用いた粗・細骨材の組合せは、A：良品質砕石・良品質川砂、B：低品質砕石・良品質川砂、C：良品質砕石・低品質砕砂、D：低品質砕石・低品質砕砂の4種とした。コンクリートの配合は、表-2に示すように、それぞれの組合せに対してAE減水剤と高性能減水剤を使用し、粗骨材の最大寸法15mm、目標スランブ8cm、目標空気量5%とし、単位セメント量を300kg、400

表-1 使用骨材の物理試験結果

骨材の種類		表乾比重	吸水率 (%)	粗粒率 (FM)	実積率 (%)	40t破砕値 (%)
低品質骨材	砕石	2.54	3.15	6.45	56.7	13.8
	砕砂	2.54	3.35	2.56	54.7	-
JIS規格値	砕石	2.5以上	3.0%以下	-	55%以上	-
	砕砂	2.5以上	3.0%以下	-	53%以上	-
良品質骨材	砕石	2.60	1.79	6.52	57.0	11.2
	川砂	2.61	1.42	2.86	59.0	-

注)・JIS A 5005 "コンクリート用砕石"・JIS A 5004 "コンクリート用砕砂"

表-2 使用コンクリートの配合

骨材 組合せ	配合の種類 使用 減水剤	粗骨材の 最大寸法 (mm)	目 標 スランブ° (cm)	目 標 空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単 位 量 (kg/m <sup>3</sup> )				減水剤 使用量 (g/m <sup>3</sup> )	A E剤 使用量 (cc/m <sup>3</sup> )
							C	W	S	G		
A	A E	15	8±1	5±0.5	57.7	54	300	173	961	813	750	0
					41.8	52	400	167	890	816	1000	30
					39.8	49	500	169	795	828	1250	85
	高性能				55.0	54	300	165	972	822	3600	120
					39.5	52	400	158	903	827	4800	300
					31.0	49	500	155	813	840	6000	350
B	A E	15	8±1	5±0.5	57.7	54	300	173	961	797	750	0
					41.8	52	400	167	890	800	1000	30
					39.8	49	500	169	795	806	1250	100
	高性能				55.0	54	300	165	972	806	3600	120
					39.5	52	400	158	903	811	4800	300
					31.0	49	500	155	813	824	6000	350
C	A E	15	8±1	5±0.5	60.0	52	300	180	885	839	750	38
					43.5	50	400	174	818	840	1000	45
					35.2	47	500	176	728	844	1250	125
	高性能				59.3	52	300	178	887	842	3600	290
					40.8	50	400	163	832	855	4800	350
					32.4	47	500	162	749	903	6000	450
D	A E	15	8±1	5±0.5	60.0	52	300	180	885	823	750	38
					43.5	50	400	174	818	824	1000	50
					35.2	47	500	176	728	828	1250	190
	高性能				59.3	52	300	178	887	825	3600	290
					40.8	50	400	163	832	838	4800	350
					32.4	47	500	162	749	847	6000	450

kgおよび500kg と変えたものを用いた。なお、A E減水剤と高性能減水剤の使用量は、セメント量に対してそれぞれ0.25%および1.20%とし、所要の空気量が得られるようA E助剤を加えた。

### 2. 3 供試体の作製および養生

コンクリートの練りませには容量50ℓの強制練りミキサーを用い、最初にモルタルを1分間練り、ミキサーを止めて表乾状態の粗骨材を投入したのち1分30秒間練りませを行った。

練りませ直後、フレッシュコンクリートの管理試験としてスランブおよび空気量の測定を行い、コンクリートをφ10×20cmの円柱型枠（圧縮強度、引張強度および動弾性係数測定用）および□10×10×40cmはり型枠（乾燥収縮測定用）に詰め、振動数6000vpm、振幅0.96mmの振動台にのせて20秒間締め成形を行った。成形してから数時間後、表面仕上げを行い、20℃の恒温室に保管した。成形の翌日脱型し、材令7日、28日および6カ月まで20±2℃の水中養生を行った。

### 2. 4 硬化コンクリートの試験

所定材令に達した供試体は、JIS A 1108に従って100t万能試験機を用いて圧縮強度試験を行った。なお、強度試験の前に供試体重量を測定し、共鳴振動数を求め、動弾性係数を測定した。また、引張強度は、JIS A 1113に従い円柱供試体を横倒した割裂試験によって求めた。

硬化コンクリートの乾燥収縮は、はり供試体上面に乳色ガラスを貼り、コンパレータ法（JIS A 1129）により、材令7日から乾燥養生に移して長さ変化を測定し、乾燥収縮ひずみを求めた。

なお、試験に用いた供試体数は1種につき3個とし、結果はその平均値を用いた。

## 3. 実験結果とその考察

### 3. 1 セメント水比と圧縮強度との関係

粗・細骨材の組合せを4種に変えたコンクリートのセメント水比と圧縮強度との関係をA E減水剤および高性能減水剤を用いた場合について、それぞれ図-1および図-2に示す。また、両混和剤を用いたコンクリートを比較するために、セメント水比と圧縮強度との関係式を最小二乗法で求めて表-3に示し、図-1および図-2中には直線を記入した。

図-1にみられるように、A E減水剤を用いたコンクリートでは、セメント水比の大きい高強度

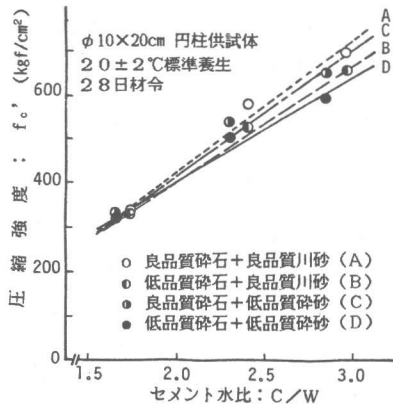


図-1 A E減水剤を用いた各種コンクリートのセメント水比と圧縮強度との関係

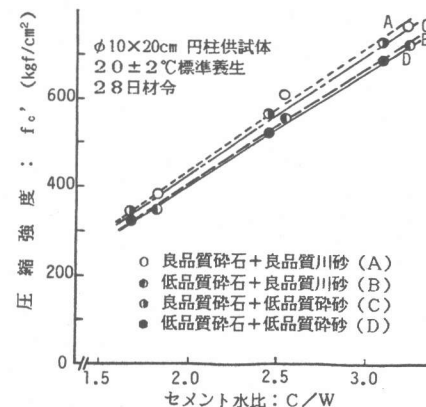


図-2 高性能減水剤を用いた各種コンクリートのセメント水比と圧縮強度との関係

コンクリートになると、使用骨材の品質による強度差が大となり、低品質骨材とくに低品質砕石を用いると、セメント水比による強度増加率が低下する。前報<sup>2)</sup>でも、セメント水比が2.5以上になると直線の勾配が変わることを指摘している。藤原ら<sup>3)</sup>の最近の研究でも、セメント水比が大きくなると、強度増進率が小さくなる結果を得ている。一方、高性能減水剤を用いたコンクリートでは、高セメント水比での強度発現がA E減水剤の場合に比較して良好であり、セメント水比が1.6から3.2の範囲では、圧縮強度との関係を一次式で示すことができる。

表-3 各種コンクリートのセメント水比と28日圧縮強度との関係式

コンクリートに使用する骨材の組合せ	セメント水比(C/W)と圧縮強度( $f_c'$ )との関係式	
	A E減水剤の場合	高性能減水剤の場合
良品質砕石+良品質川砂	$f_c' = 297 \cdot C/W - 163$	$f_c' = 285 \cdot C/W - 140$
低品質砕石+良品質川砂	$f_c' = 244 \cdot C/W - 80$	$f_c' = 267 \cdot C/W - 134$
良品質砕石+低品質砕砂	$f_c' = 282 \cdot C/W - 128$	$f_c' = 275 \cdot C/W - 117$
低品質砕石+低品質砕砂	$f_c' = 236 \cdot C/W - 61$	$f_c' = 257 \cdot C/W - 109$

同一セメント水比では、低品質の砕石・砕砂コンクリートのほうが良品質の砕石・川砂コンクリートより強度は低いものの、図-2のように、セメント水比の増加による強度増加率には大差なく、高性能減水剤の使用は、とくに高強度コンクリートの強度改善に有効であるといえる。

なお、良品質骨材と低品質骨材とを組み合わせた場合は、低品質砕石・良品質川砂のコンクリートは、各セメント水比の場合とも、低品質砕石・低品質砕砂コンクリートに近く、細骨材に比べて粗骨材の影響のほうが大きいことを示している。

### 3.2 コンクリートの圧縮強度に及ぼす影響

骨材の組合せを4種に変えたコンクリートの材令7日、28日および6カ月の圧縮強度を単位セメント量別に、A E減水剤を用いた場合を図-3に、高性能減水剤を用いた場合を図-4に示す。

これらの図にみられるように、各材令、各配合のコンクリートとも、良品質砕石・良品質川砂コンクリート(A)に比べて、低品質砕石あるいは砕砂を用いると明らかに強度低下を示しており、その低下は良品質砕石・低品質砕砂(C)、低品質砕石・良品質川砂(B)、低品質砕石・低品質砕砂の順で大きくなる。

良品質骨材コンクリートに対する強度比は各材令とも大差ないが、A E減水剤を用いたコンクリートでは材令28日より6カ月の長期になると、また、単位セメント量が300kg から400kg、500kgと富配合になるほど骨材品質の影響が大となる傾向がみられる(図-3参照)。一方、高性能減水剤を用いたコンクリートでは、材令、配合などによる明瞭な傾向がみられないが、600kgf/cm<sup>2</sup>以上の高強度になると、A E減水剤を用いたコンクリートより低品質砕石や低品質砕砂を用いる

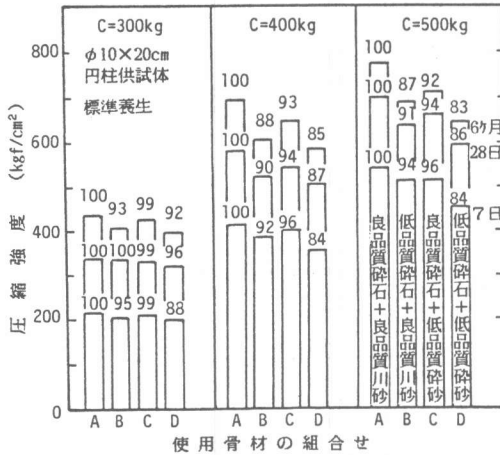


図-3 AE減水剤を使用したコンクリートの圧縮強度

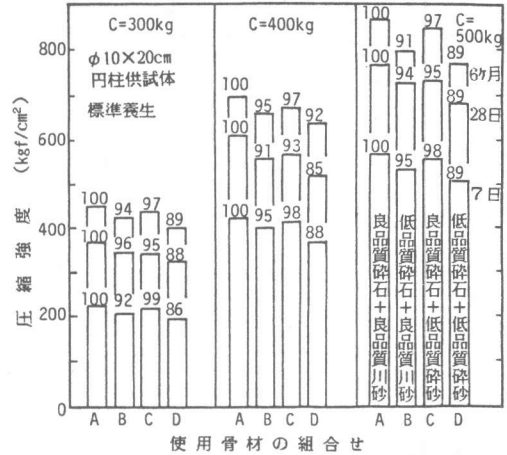


図-4 高性能減水剤を使用したコンクリートの圧縮強度

ことによる強度低下率が明らかに小さくなっており、単位セメント量500kgの富配合コンクリートでは10%程度高い値が得られている。前川ら<sup>4)</sup>は、プレーンおよびAEコンクリートで調査し、高強度コンクリートは骨材品質の影響が大きく、低品質骨材を用いると所要の強度を得るのにセメント量を増す必要があり不経済であると述べているが、高性能減水剤の使用は単位セメント量を低減する上からも有効である。

低品質の碎石・碎砂を用いたコンクリートは、良品質の碎石・碎砂を用いたコンクリートに比べて、材令28日と6カ月では4~17%、平均で約10%の強度低下となっている。なお、混合使用の場合は、粗骨材に低品質碎石を用いたコンクリートのほうが、細骨材に低品質碎砂を用いたものより強度低下の割合が大きい。

### 3.3 コンクリートの引張強度に及ぼす影響

骨材の組合せを4種に変えて、単位セメント量を300kgと500kgとし、AE減水剤および高性能減水剤を用いたコンクリートの引張強度をそれぞれ図-5および図-6に示す。

これらの結果にみられるように、材令が7日から28日、さらに6カ月と長期になるほど、また単位セメント量が300kgから500kgと富配合になるほど、低品質の碎石や碎砂を用いたコンクリートの引張強度が低くなる傾向がある。とくに、低品質の碎石・碎砂コンクリートは、材令6カ

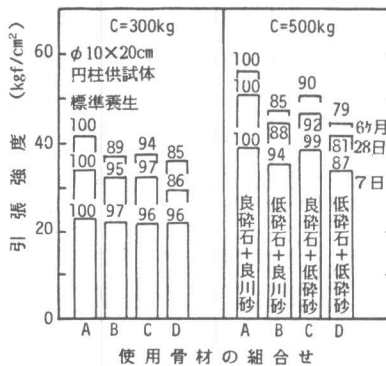


図-5 AE減水剤を使用したコンクリートの引張強度

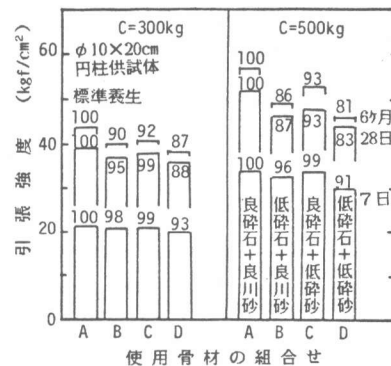


図-6 高性能減水剤を使用したコンクリートの引張強度

月で良品質の碎石・川砂コンクリートに比べて、引張強度の低下率は300kgの配合で14%、500kgの富配合では20%であり、圧縮強度に比べて骨材品質の影響が顕著にあらわれている。

また、高性能減水剤を用いた場合は、AE減水剤を用いたコンクリートに比べて、材令28日および6カ月の引張強度はいくぶん高くなるが、高性能減水剤の使用によって引張強度の改善をはかることは困難である。良品質碎石と低品質砕砂とを組み合わせた場合は、引張強度の低下が図-6のように大幅に小さくなっているため、粗骨材の選択に十分な注意が必要と思われる。

しかし、良品質骨材の入手がかなり困難となりつつある今日、迫田<sup>5)</sup>が指摘しているように、吸水率から判定して低品質骨材と判定される場合でも、コンクリートの所要強度に応じて有効利用を考える必要がある。小林ら<sup>6)</sup>は、品質規格外の骨材でも安定性などの特性を考慮すれば、コンクリート用骨材として十分に利用できるものが多いと述べている。

### 3. 4 圧縮強度と動弾性係数との関係

圧縮強度試験の直前にφ10×20cmの円柱供試体で求めた動弾性係数と圧縮強度との関係を良品質碎石・川砂コンクリートと低品質碎石・砕砂コンクリートの場合について図-7に示す。

この結果にみられるように、後者の低品質骨材コンクリートは明らかに前者に比べて動弾性係数が低くなっており、その低下率はおおよそ15%である。藤原ら<sup>3)</sup>は、低品質碎石の動弾性係数や静弾性係数を測定し、骨材の品質によってかなり弾性係数が異なるので、低品質の骨材を用いる場合は、示方書の値でなくて実測値を用いるのが望ましいと報告している。

骨材の品質が同じであれば、AE減水剤を用いたコンクリートと高性能減水剤を用いたコンクリートとも、圧縮強度 ( $f_c'$ , kgf/cm<sup>2</sup>) と動弾性係数 ( $E_D$ , kgf/cm<sup>2</sup>) との関係はほぼ同じ指数式で示され、両者の関係式を求めて図-7中に記入した。なお、良品質骨材と低品質骨材とを組み合わせる混合使用したコンクリートでは、良品質碎石・川砂コンクリートと低品質碎石・砕砂コンクリートとの中間の値を与えており、低下率を半減することができる。

### 3. 5 コンクリートの乾燥収縮

骨材の組合せを4種とし、単位セメント量400kgの配合のコンクリートの乾燥収縮による長さ変化率を、AE減水剤を用いた場合を図-8に、高性能減水剤を用いた場合を図-9に示す。

これらの図にみられるように、良品質の碎石・砕砂を用いたコンクリート(A)に比べて、低品質骨材を用いたコンクリートは、乾燥収縮が明らかに大きくなっている。低比重で高吸水率の骨材は、その弾性係数が小さくなること<sup>7)</sup>、低品質砕砂を用いた配合(C, D)では単位水量が多くなること、などが乾燥収縮が大きくなる原因と考えられる。蒿ら<sup>8)</sup>、友沢ら<sup>9)</sup>は、建築用コンクリートで低品質骨材を用いると乾燥収縮が大きくなり、ひびわれが発生しやすくなると述べており、乾燥状態で使用する場合注意を要する。

なお、高性能減水剤を使用すると、AE減水剤のものより数%乾燥収縮は小となっている。これは、表-2の単位セメント量400kgの配合にみられるように、単位水量が9~10kg減少できるためであり、乾燥収縮の低減に高性能減水剤の使用は有効であることを示している。

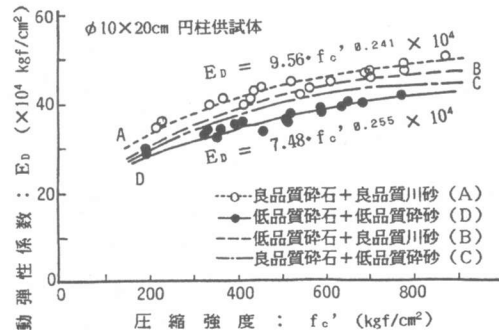


図-7 低品質骨材と良品質骨材を用いたコンクリートの圧縮強度と動弾性係数との関係

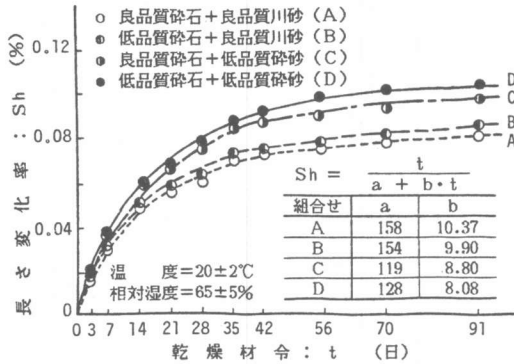


図-8 AE減水剤を使用した  
コンクリートの乾燥収縮

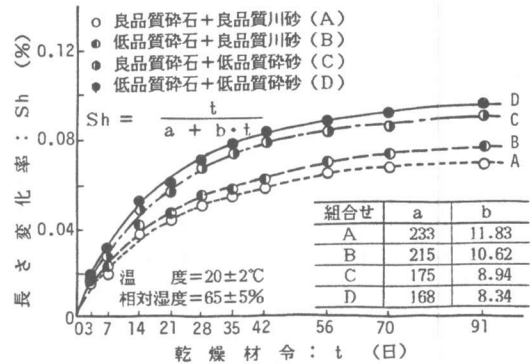


図-9 高性能減水剤を使用した  
コンクリートの乾燥収縮

#### 4. まとめ

研究結果を要約すると、本実験の範囲内で次のことがいえる。

- (1) AE減水剤を用いた低品質砕石コンクリートは、セメント水比が大きくなると強度増加率が低くなる傾向がある。高性能減水剤の使用はそれを改善でき、セメント水比が1.6から3.2の範囲内であれば、セメント水比と圧縮強度との関係を一次式で示すことができる。
- (2) 低品質の砕石・砕砂を用いたコンクリートの材令28日および長期の6カ月の圧縮強度は、良品の砕石・川砂コンクリートに比べて、平均10%程度低下する。
- (3) コンクリートの引張強度に対する骨材品質の影響は、圧縮強度に比べて顕著であり、引張強度の改善には粗骨材に良品砕石を用いる必要がある。
- (4) 低品質の砕石・砕砂を用いたコンクリートの動弾性係数は、良品の砕石・川砂を用いたものより平均15%程度低くなり、骨材品質の影響が顕著にあらわれる。
- (5) 低品質の砕石・砕砂を用いたコンクリートの乾燥収縮は、良品の砕石・川砂を用いたものより明らかに大となる。高性能減水剤を使用するとAE減水剤を用いたものより数%低減できる。
- (6) 低品質骨材に良品骨材を組み合わせると、品質低下を緩和することができる。

結局、低品質骨材を使用するとコンクリートの強度や動弾性係数が低下し、乾燥収縮は増加するが、セメント量を調節し、高性能減水剤を添加することにより、かなりの高強度が得られ、品質も多少改善されるので、構造物の重要度に応じて有効利用が可能と考えられ、とくに、良品砕石と組み合わせると、品質低下が緩和されるのでよい方法といえる。

#### 【参考文献】

- 1) 渡辺 明：骨材の低品質化への対応、土木学会誌、Vol.70、No.11、1985、pp.12-16。
- 2) 河野 清、向井恒好：低品質砕石を用いた硬練りコンクリートの諸性質に関する検討、セメント技術年報、Vol.38、1984、pp.170-173。
- 3) 藤原忠司、帷子國成：低品質の砕石を用いたコンクリートの力学的特性、セメント技術年報、Vol.38、1984、pp.114-117。
- 4) 前川静夫、今井益隆：低品質の砕石がコンクリートの諸性質に与える影響、コンクリートジャーナル、Vol.8、No.12、1970、pp.14-23。
- 5) 迫田恵三：骨材の品質がコンクリートの性質に及ぼす影響、第8回コンクリート工学年次講演会論文集、1986、pp.233-236。
- 6) 小林茂敏、小野金造、河田博之、石井良美：低品質骨材を用いたコンクリートの特性、セメントコンクリート、No.440、1983、pp.16-22。
- 7) 岡田 清、六車 照：コンクリート工学ハンドブック、朝倉書店、1981、pp.478。
- 8) 髙 英雄、和泉意登志、小野寺常昭、近藤秀世：低品質骨材がコンクリートの諸性質に及ぼす影響、セメントコンクリート、No.415、1981、pp.143-160。
- 9) 友澤友紀、榊田佳寛、田中 齊：低品質骨材の適正利用に関する研究、セメントコンクリート、No.441、1983、pp.23-30。