

論文 スリップフォーム用コンクリートの品質評価法に関する研究

伊藤 康司^{*1}・國府 勝郎^{*2}・久保 雅弘^{*3}・鈴木 一雄^{*4}

要旨：防護柵用スリップフォームに用いられるスランプ2～5cmの硬練りコンクリートの評価に当たり，締固め性，変形抵抗性及びすべり抵抗性の各試験方法について検討した結果，品質評価に適用できる可能性が示された。さらに，実施工における情報を収集し，施工条件を締固め仕事量の概念を用いて整理した結果，出荷時のコンクリート試験を活用した施工条件の設定が実現できる可能性が示された。

キーワード：スリップフォーム，締固め性，変形抵抗性，すべり抵抗性，施工速度，振動数

1. はじめに

スリップフォーム工法に用いられるコンクリートは，成形時の締固め性と脱型後の自立性が要求され，スランプが2～5cmの硬練りコンクリートが使用されている。しかし，このような低スランプの硬練りコンクリートは，スランプ試験でのワーカビリティの評価が難しい場合が多く，生コンクリート工場における配合設計及び品質評価を簡易に行うための試験方法の開発が必要と考えられる。

本研究は，スリップフォーム用コンクリートの締固め性¹⁾の評価を行うために開発した試験装置(以降，SS試験機と呼ぶ)をはじめ，変形抵抗性及びすべり抵抗性に関する品質評価試験方法について検討したものである。さらに，これらを実施工の現場に適用し，合理的な施工条件の設定について検討したものである。

2. スリップフォーム用コンクリートの品質評価試験方法の選定

中央分離帯用防護柵のスリップフォームの形状は，一般に図-1に示すものが用いられている。また，コンクリートのフレッシュ時の要求性能は，成形のし易さ(締固め性)，即時脱型性(付着力)及び脱型後の自立性(変形抵抗性)

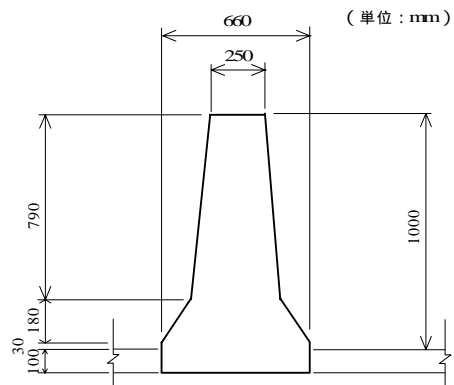


図-1 コンクリート防護柵の断面の例



写真-1 SS試験機

等が挙げられる。このため本研究においては，スリップフォーム用コンクリートの品質評価試験方法として次の3つを選定した。

*1 全国生コンクリート工業組合連合会 中央技術研究所 (正会員)

*2 東京都立大学大学院 工学研究科 教授 工博 (正会員)

*3 日本スリップフォーム工法協会 技術部長

*4 全国生コンクリート工業組合連合会 中央技術研究所 所長 工博 (正会員)

2.1 SS試験（締固め性）

製造現場において、締固め性の評価を簡易に実施するため、SS（スライディングランプ）試験機を試作した。装置は、写真 - 1 に示すように、2本の内部振動機にタンピングプレートを取り付けた締固め装置と、構造物をスケールダウンし上端10cm、下端20cm、高さ30cm、長さ40cm、容量15.76ℓとした型枠とで構成されている。型枠の側板は水平方向にスライドが可能な構造となっている。

試験は、配合上の単位容積質量と型枠容積をもとに計量した試料を型枠内に全量投入した後、振動締固めを開始し、タンピングプレートが型枠の所定の位置に到達するまでの推移と時間を計測して試料の締固め性を評価した。なお、振動機は、コンクリートの締固め性状を鋭敏に検出させるため、ボルトスライダーを用いて電圧を調整した。

2.2 斜面試験（付着力）

自走する施工機械の型枠とコンクリートとの付着力の指標とするため、斜面試験を実施した。斜面試験装置は、幅300mm、長さ500mm及び厚さ10mmの平板と内径195mm、深さ80mmの真鍮製の円筒容器並びにダイヤルゲージで構成されている。試験は、試料を詰めした後、平板を傾斜させて円筒容器がすべり出した角度をダイヤルゲージによる時間 - 変位曲線から判断しフレッシュコンクリートのすべり抵抗力を求めるものである。試験装置を写真 - 2 に示す。



写真 - 2 斜面試験装置

すべり抵抗値は式(1)より計算した。

$$= (W/A)\sin \quad (1)$$

ここに、 θ : すべり抵抗値(N/m²),

W: 試料の質量(kg), A: 断面積(m²),

θ_0 : すべり開始時の平板の傾斜角度(°)

2.3 一軸圧縮試験（変形抵抗性）

一軸圧縮試験は、JIS A 1216 「土の一軸圧縮試験方法」に準じて実施し、フレッシュコンクリートの静的な荷重に対する変形性状を把握するものである。試験装置は、写真 - 3 に示すようである。



写真 - 3 一軸圧縮試験装置

試験は、15×20cmに相当する試料を計量し、JIS A 1132「コンクリートの強度試験用供試体の作り方」に従って、内部振動機を用いて供試体を作製した。これらを直ちに脱型し、変位制御で供試体高さの1%/min (=2mm/min)の速度で載荷した。この測定値より、載荷初期の加圧板と変位の関係の乱れを直線部からの原点修正を行って、応力 - ひずみ曲線を描き、応力 - ひずみ曲線の原点を通る直線部の勾配を変形抵抗係数とした。防護柵などの壁状構造物は、脱型直後に施工機械の内部振動機やエンジン等による振動などの動的外力の影響を受けるとともに、構造物の高さによる自重の影響によって変形を生じると考えられる。変形抵抗係数は、これらの影響によるフレッシュコンクリートの変形に対する抵抗性の判断の目安になるものと考えられる。

3. 室内実験

3.1 使用材料及び配合

実験に用いた材料は、セメントは密度 3.16g/cm^3 、比表面積 $3,260\text{cm}^2/\text{g}$ の普通ポルトランドセメント、細骨材は、茨城県飯沼産の砕砂（密度 2.61g/cm^3 、吸水率 1.26% 、粗粒率 2.65 ）、粗骨材は、茨城県飯沼産の硬質砂岩砕石（密度 2.59g/cm^3 、吸水率 0.7% 、実積率 61.5% ）を用いた。

混和剤は、N社製のAE減水剤標準形を用いた。

実験に用いた配合は、表 - 1 に示すものである。練混ぜは、容量 100l の強制練りミキサを用い、粗骨材、細骨材 $1/2$ 、セメント、細骨材 $1/2$ の順に投入し、空練り後に練混ぜ水を投入して、練混ぜ時間を 90 秒として行った。

表 - 1 コンクリートの配合

シリーズ名	W/C (%)	s/a (%)	単体量(kg/m^3)				混和剤(m^3)	
			W	C	S	G	Ad	助剤
W	41.1	40	144	350	715	1060	250	157.5
	41.7		146		713	1057		122.5
	42.3		148		711	1054		122.5
s/a	40.6	35	142	350	628	1152	250	122.5
	41.7	40	146		713	1057		122.5
	41.7	45	146		802	969		122.5

3.2 実験結果及び考察

1) SS 試験

単位水量を変化させた場合の SS 試験機による締固め時間の測定結果を図 - 2 に示す。図 - 2 において締固め時間は、単位水量の増加に伴って短くなっており、単位水量 4kg/m^3 の範囲内で締固め時間が 11.1 秒変化している。コンクリートのフレッシュ性状及び各種試験結果は表 - 3 に示すとおりである。SS 試験の締固め時間とコンクリートの充填率との関係を示した締固め曲線は、図 - 3 に示すようである。図 - 3 において、単位水量の増加に伴って締固め時間が短くなっており、コンクリートの充填される過程も明瞭に示されている。また、細骨材率を変化させた場合の締固め時間は、図 - 4 に示すようであって、細骨材率が小さいものほど締固め時間が短くなっている。したがって、SS 試

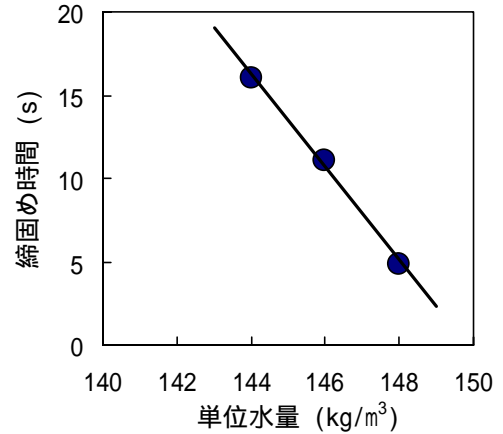


図 - 2 単位水量と締固め時間との関係

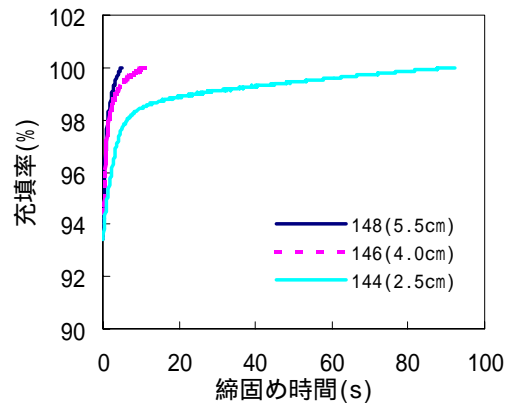


図 - 3 締固め時間と充填率との関係

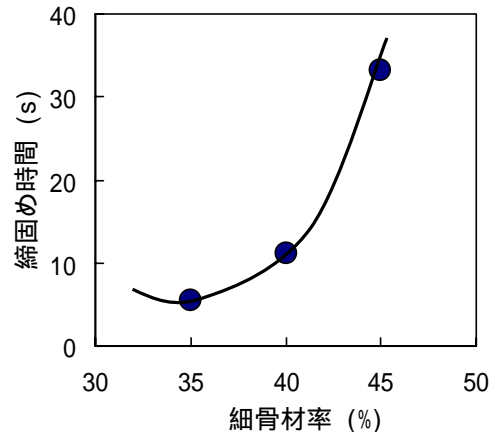


図 - 4 細骨材率と締固め時間との関係

表 - 2 フレッシュコンクリートの性状

配合	スゾフ (cm)	空気量 (%)	試料温度 ()	
W	144	2.5	6.2	23.8
	146	4.0	6.0	-
	148	5.5	6.5	-
s/a	35	4.0	5.8	26.0
	40	4.0	6.0	-
	45	3.5	6.4	25.0

験による締固め時間は，コンシステンシーの指標になる可能性が示された。

2)一軸圧縮試験

単位水量を変化させた場合の変形抵抗係数は，図 - 5 に示すように単位水量の増加に伴って直線的に低下している。すなわち，単位水量 4kg/m^3 の増加に対して，変形抵抗性が 0.357N/mm^2 低下しており，単位水量によって脱型直後のコンクリートの自立性を評価できる可能性が示されている。

細骨材率の相違による変形抵抗係数は，図 - 6 に示すようであり，細骨材率の増加に伴って変形抵抗性が低下する傾向を示している。

スリップフォーム用コンクリートの材料と適正配合に関する既往の検討²⁾においては，変形抵抗係数が最大となりうる細骨材率が存在する結果も得られているが，この結果は設計空気量を 4.5% として配合設計を実施したものであって，これに対し今回の実験においては，実施工と同様に振動による空気量の損失を見込んだ空気量 (6%) としていることから，比較的低い細骨材率においても材料分離しにくいコンクリートが得られたものと考えられる。

したがって，一軸圧縮試験による変形抵抗係数は，配合の相違によるコンクリートの自立性を評価できる可能性があるものと考えられる。今後，試験値と実施工における出来形との関係を把握し，これらを蓄積することが必要と考えられる。

3)斜面試験

単位水量を変化させた場合の斜面試験によるすべり抵抗値は，図 - 7 に示すようであって，単位水量の増加に伴ってすべり抵抗値が小さくなっており，単位水量の変化を顕著に表現でき，自走する施工機械の型枠とコンクリートに作用する抵抗力の指標となり得ることが示された。

次に，細骨材率を変化させた場合のすべり抵抗値は図 - 8 に示すようであって，この実験の範囲内では上に凸の曲線が得られている。したがって，斜面試験によるすべり抵抗値は，配合

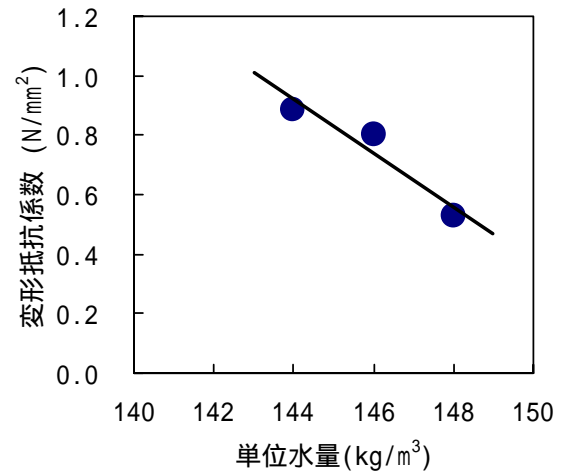


図 - 5 単位水量と変形抵抗係数との関係

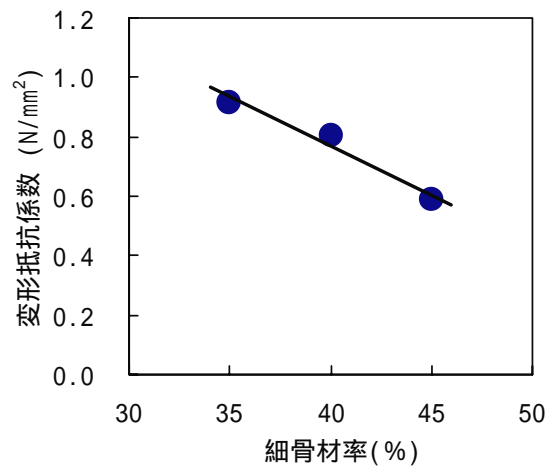


図 - 6 細骨材率と変形抵抗係数との関係

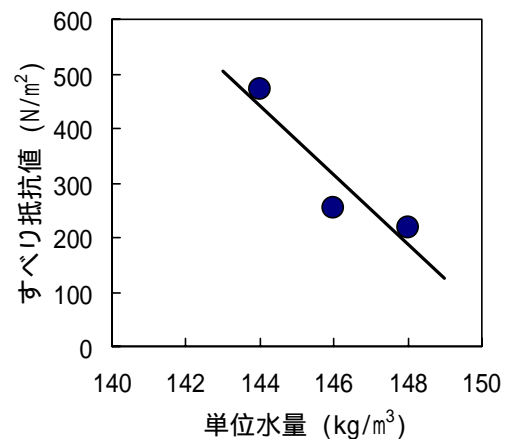


図 - 7 単位水量とすべり抵抗値との関係

の相違を比較的鋭敏に表示しており，自走する施工機械の型枠とコンクリートに作用するすべり抵抗力の指標となる可能性があると考えられる。

4. 現場への適用

防護柵用スリップフォームの実施工において、これらの品質評価試験機を用いて測定を行った。これらの結果を表 - 4 に示す。表 - 4 において、SS試験による締固め時間は、前述の室内実験に比べ、高い値となっている。この原因はプラント試験室における試料採取時に、トラックアジテータによる高速回転を実施した結果、空気量が過大となったためと考えられる。なお、表面性状等出来形の評価を実施し、良好なものについては表中に網掛けで示した通りである。図 - 9 及び図 - 10 は、品質評価試験結果と施工条件との関係を示した一例である。図 - 9 において締固め時間と施工速度との関係は、ややばらつきはあるが、相関が認められる。図 - 10 はすべり抵抗値と振動数との関係を示したものであって、両者の間に相関が認められる。

表 - 3 実施工における試験並びに条件調査結果

No.	スラブ 厚 (cm)	空気 量 (%)	締固め 時間 (s)	変形 抵抗 係数 (N/mm ²)	すべり 抵抗値 (N/m ²)	施工 速度 (m/min)	振動 レベル ×1000 (rpm)	表面 性状 の 評価
1	3.9 3.0	9.2 5.8	102	0.178	598	0.90	11.0	8
2	5.1 2.8	11.0	130	0.308	469	0.90	10.6	10
3	3.2 2.5	7.6	8.0	0.942	941	0.65	10.2	8
4	2.9 2.5	6.2	2.6	0.481	492	0.80	10.7	9
5	3.0 2.5	6.5	4.0	0.668	643	0.75	10.7	10
6	4.0 3.5	10.0	92.8	0.772	375	0.65	9.8	8
7	4.2 3.0	10.0	92.0	0.306	418	0.80	9.2	10
8	5.7 3.5	10.5	75.6	0.254	252	0.90	9.6	10
9	6.1 3.5	11.0	129.2	0.223	356	-	-	-
10	2.6 3.5	7.0 5.6	10.6	0.468	836	0.65	10.8	8
11	6.1 3.5	11.0	182	0.223	275	1.00	10.7	10
12	5.9 3.5	11.4	205	0.251	277	1.25	10.4	10
13	6.5 3.5	11.4	188	0.277	250	1.40	9.8	10
14	4.0 3.5	11.2	204	0.298	545	1.20	10.6	10
15	6.5 4.0	11.0	112	0.422	392	1.40	10.6	10
16	7.5 4.0	10.8	189	0.344	276	1.40	9.2	10
17	7.3 4.0	11.0	187	0.435	152	1.40	-	7
18	5.1 4.0	10.5	80.2	0.407	365	1.40	8.8	10

表面性状の評価方法 良好…10点 ジャンカあり…9点
ごく一部ジャンカあり…8点 だれる…7点

施工時のコンクリートは、型枠の移動時間中に所要の振動を受けるため、締固め仕事量で施工

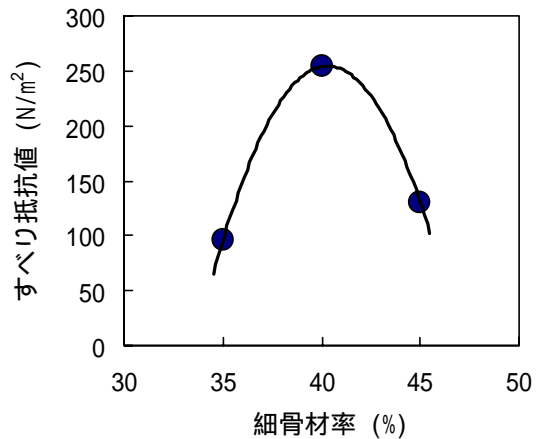


図 - 8 細骨材率とすべり抵抗値との関係

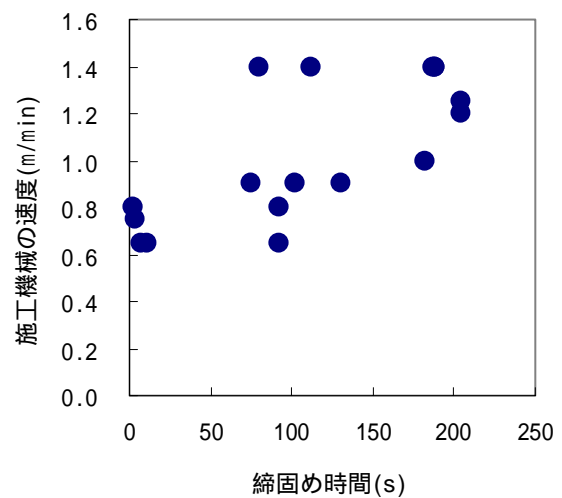


図 - 9 締固め時間と施工速度との関係

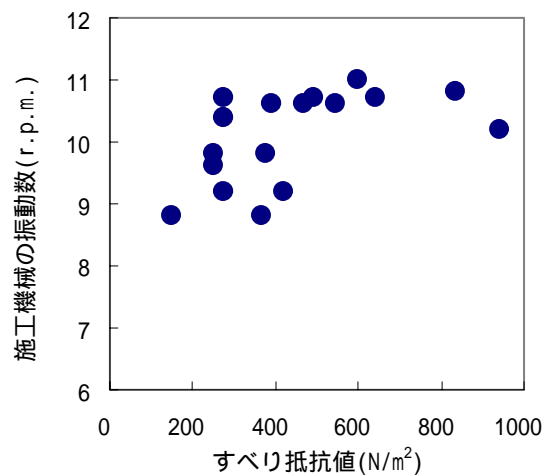


図 - 10 すべり抵抗値と振動数との関係
条件が整理できると考えられる。

一般に、締固め仕事量 E は式 (2) で表され、

$$E = \frac{2}{4\pi^2 f} t \quad (2)$$

ここに、 E ；締固め仕事量(J/ℓ)，
 ρ ；コンクリートの単位容積質量(kg/ℓ)，
 a ；最大加速度(m/s^2)， f ；振動数(s^{-1})，
 t ；時間(s)

振動の加速度 a ，振動数 f 及び振幅 a の関係は式(3)で表されるので，

$$\alpha = 4\pi^2 f^2 a \quad (3)$$

式(2)と(3)より

$$E = k f^3 t \quad (4)$$

ここに、 $k = (2/\alpha)^2$

となり、締固め仕事量は振動数の3乗に時間を乗じればよい。

これをスリップフォームの施工に適用すると、締固め仕事量は振動機の回転数の3乗を施工速度で除すことにより、概略表することができると思われる。

$$\text{締固め仕事量} = \beta \frac{f^3}{V} \quad (5)$$

ここに、 β ；定数、

f ；施工機械の振動数(r.p.m.)、

V ；施工速度(m/min)

この疑似締固め仕事量を施工評価係数と定義して、各種品質評価試験結果との関係をプロットし図-11及び図-12に示した。図において矢印の領域内は、出来形の表面性状から良好と判断した部分を示している。これらのデータを今後蓄積することにより、最適な施工速度及

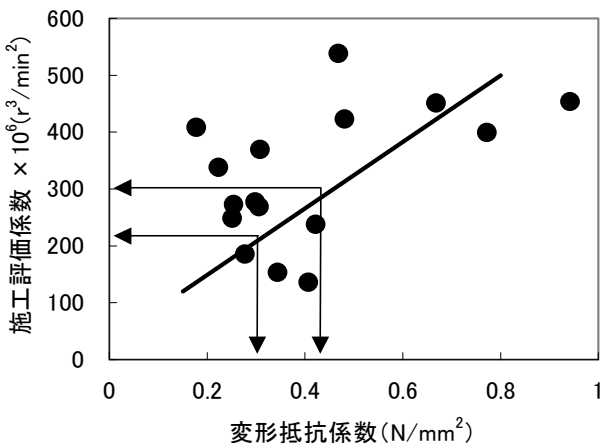


図-11 変形抵抗係数と施工評価係数との関係

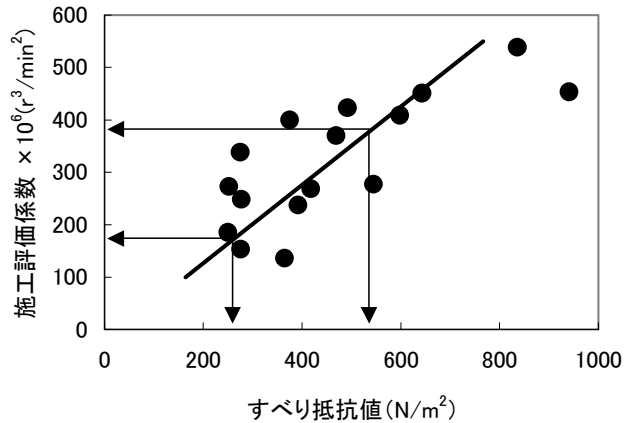


図-12 すべり抵抗値と施工評価係数との関係

び振動数の条件設定が可能になるものと考えられる。すなわち施工者は、工期や現場の諸事情に合わせて、生コンクリートの出荷時の品質評価試験結果を基に、施工速度並びに振動エネルギーを的確に調整することが可能となり、定量的な施工設計が実現できるものと思われる。

5. まとめ

スリップフォーム工法用コンクリートの品質評価を行うため、締固め性、変形抵抗性及びすべり抵抗性に関する各試験を実施した。これらの成果を要約すれば以下の通りである。

- 1)SS 試験による締固め時間、一軸圧縮試験による変形抵抗係数並びに斜面試験によるすべり抵抗値は、コンクリートの配合条件との相関が認められ、品質評価に使用できる可能性が示された。
- 2)施工条件を締固め仕事量の概念に基づいて整理した結果、コンクリート出荷時の品質評価試験結果より、施工条件の設定が行える可能性が示された。

参考文献

- 1)國府勝郎，近藤拓也，上野敦；RCCP 用コンクリートの締固め性試験方法に関する研究，セメントコンクリート論文集，vol.46，pp964～969，セメント協会，1992
- 2)國府勝郎，上野敦，早川健司，鈴木一雄；防護柵に用いるフレッシュコンクリートの性質に対する使用骨材の影響，セメントコンクリート論文集，vol.48，pp872～877，セメント協会，1994