

論文

[1004] ダム用コンクリートの強度特性に及ぼす粗骨材の影響

正会員 ○安藤兼治 (中部電力電力技術研究所)  
 正会員 杉本忠男 (中部電力電力技術研究所)  
 正会員 梅原秀哲 (名古屋工業大学工学部)  
 正会員 吉田弥智 (名古屋工業大学工学部)

1. まえがき

コンクリートへの骨材の影響に関する研究はこれまでに数多くなされているが、そのほとんどがGmax (粗骨材の最大寸法) が40mm以下についての研究であり、ダムコンクリートなどを対象としたGmax が40mm以上の配合ではほとんど行われていない。またダムコンクリートの品質管理手法として強度試験が行われているが、Gmax が40mm以上の場合はウエットスクリーニングを行って供試体を作製している。特に骨材の影響が大きいダムコンクリートにおいてウエットスクリーニングを行うことは、40mm以上の粗骨材の影響が全く反映されないため、ウエットスクリーニングされたコンクリートの品質が、実際のダムコンクリートの品質と相違していると思われる。

そこで、本研究では、ウエットスクリーニングされたコンクリートの品質を実際のダムコンクリートの品質と比較することにより、ウエットスクリーニングがコンクリート圧縮強度などに及ぼす影響を、特にその要因として考えられる粗骨材の最大寸法および単位水量を指標として検討することにした。

2. 実験の概要

実験は2シリーズからなり、実験Ⅰではウエットスクリーニングによるふるい目の違い、および供試体寸法の違いがコンクリート強度に与える影響について検討を行った。実験Ⅱでは実験Ⅰの結果の究明を目的としてコンクリート内部の挙動に着目して、ウエットスクリーニングによるふるい目の違いおよび単位水量の変化が、ブリージングによって生じる粗骨材下面の空隙や粗骨材とモルタルの付着に与える影響についてボンドクラックを中心に検討を行った。なお、ボンドクラックとは、粗骨材とモルタルの付着面に発生するひびわれのことである。

3. 実験Ⅰ

3.1 供試体の種類と配合

ウエットスクリーニングを15mm、25mmおよび40mmのふるいで行ったものとウエットスクリーニングを行わない150mmのもの計4種類を選び、円柱供試体寸法もφ15×30cmおよびφ30×60cmの計2種類を用いて表-1に示す組み合わせで供試体を作製した。配合を表-2に示す。なお使用骨材の破碎値は11.8%である。

表-1 各供試体の圧縮強度及びヤング係数

供試体寸法 (cm)	ウエットスクリーニングのふるい目 (mm)	圧縮強度 (kg/cm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (kg/cm <sup>2</sup> )
φ30×60	150	301	234000
	40	335	242000
φ15×30	40	418	258000
	25	450	272000
	15	507	280000

3.2 実験方法

本実験では各供試体にひずみゲージをはりつけて圧縮強度試験を行い、圧縮強度およびヤング係数を求めた。

3.3 実験結果および考察

表-2 実験1の配合

粗骨材の 最大寸法 (mm)	スランプ (cm)	空気量 (%)	水セメ ント比 W/C	細骨 材率 s/a	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )											
					水 W	セメ ント C	細骨 材 S	粗骨材 G								計
								150~80mm	80~40mm	40~25mm	25~20mm	20~15mm	15~10mm	10~5mm		
150	2.5	1.0	49	28.5	120	245	614	463	432	262	77	92	92	124	1542	

i) 供試体寸法による影響

供試体寸法が圧縮強度に与える影響は、Gmax が25mmの場合、供試体寸法φ15×30cmを基準(1.0)として、φ30×60cmの圧縮強度比は一般に0.91程度<sup>1)</sup>と言われている。また、丸安ら<sup>2)</sup>は、Gmax が150mmのコンクリートを40mmでウエットスクリーニングを行った場合、表-3に示すようにφ45×90cmの圧縮強度比は0.84であることを示している。本実験においても、40mm以上のふるいでウエットスクリーニングを行ったφ30×60cmの供試体の圧縮強度比は、表-4に示すように0.80であった。このように本実験の方が一般に示されている値よりも強度低下が大きいのは、Gmax が150mmの骨材を使用しているにも関わらずφ30×60cmの型枠を用いているため、粗骨材の分布が均一でないのが原因であると思われる。

ii) ウエットスクリーニングによる影響

表-3に示すように、丸安<sup>2)</sup>らは、ウエットスクリーニングによる強度の影響について、ウエットスクリーニングを行わないφ45×90cmの供試体の圧縮強度を基準(1.0)として、40mmでウエットスクリーニングを行った同じサイズの圧縮強度比は1.09と大きくなることを示している。本実験においても表-4に示すように、ウエットスクリーニングを行わないφ30×60cmの供試体の圧縮強度を基準(1.0)として、40mmでウエットスクリーニングを行った同じサイズの圧縮強度比は1.11となり、丸安らとほぼ同様の結果が得られた。

ウエットスクリーニングによる影響で圧縮強度比が大きくなる原因として、見掛けの単位セメント量の増加が考えられる。なお、見掛けの単位セメント量とは、ウエットスクリーニングによって粗骨材が抜けることにより、その割合だけ他の単位量が増加すると考えられるので、その割合を考慮して単位セメント量を計算したものを言う。表-5は、各供試体の見掛けの単位セメント量を示す。ここでは、取り除かれた骨材に付着しているモルタルについては考慮していないので、表に示す値は実際よりは少し大きな単位セメント量を示している。40mmおよび15mmでウエ

表-3 圧縮強度比<sup>2)</sup>

ウエットスクリー ニング	圧縮強度比	
	供試体寸法 φ45×90cm	供試体寸法 φ15×30cm
ウエットスクリー ニングを行わず	0.77 (1.00)	
40mmでウエットス クリーニング	0.84 (1.09)	1.00 (1.30)

粗骨材のGmax150mm 標準養生材令28日

注) 40mmでウエットスクリーニングを行ったφ15×30cmの供試体の圧縮強度を1.00とする。( )内は、ウエットスクリーニングを行わないφ45×90cmの供試体の圧縮強度を1.00とした時の比である。

表-4 圧縮強度比(本実験)

ウエットスクリー ニング	圧縮強度比	
	供試体寸法 φ30×60cm	供試体寸法 φ15×30cm
ウエットスクリー ニングを行わず	0.72 (1.00)	
40mmでウエットス クリーニング	0.80 (1.11)	1.00 (1.39)
25mmでウエットス クリーニング		1.08 (1.50)
15mmでウエットス クリーニング		1.21 (1.69)

粗骨材のGmax150mm 標準養生材令28日

注) 40mmでウエットスクリーニングを行ったφ15×30cmの供試体の圧縮強度を1.00とする。( )内は、ウエットスクリーニングを行わないφ30×60cmの供試体の圧縮強度を1.00とした時の比である。

トスクリーニングを行った場合の見掛けの単位セメント量は、それぞれウエットスクリーニングを行わない場合の約1.5倍と2倍であることがわかる。

ところでW/Cが一定の場合、一般にはモルタル強度は一定と考えられるが、ウエットスクリーニングを行うと、単位セメント量は大きく変化

表-5 見掛けの単位セメント量

ふるい目 (mm)	見掛けの単位セメント量 (kg/m <sup>2</sup> )
150	245
80	299
40	372
25	438
15	495

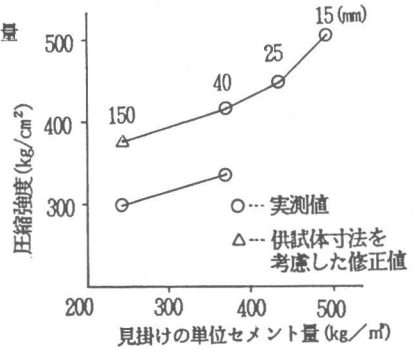


図-1 圧縮強度-見掛けの単位セメント量の関係 (実験1)

する。したがって、それがコンクリートの圧縮強度に与える影響を調べるために、図-1にφ15×30cmの供試体のウエットスクリーニングを考慮した後の見掛けの単位セメント量と圧縮強度の関係を示す。なお、Gmax 150mm についてはφ30×60cmの供試体なので、供試体寸法の影響を考慮してφ15×30cmに換算した値すなわち、0.8 で除した値を示す。見掛けの単位セメント量の増加に伴い、コンクリート強度も大きくなる傾向を示している。特に、ふるい目が40mmの供試体では、ウエットスクリーニングを行わなかった供試体に比べ、見掛けの単位セメント量が約1.5倍になるにもかかわらず、圧縮強度は1.1倍である。一方、ふるい目が25mmや15mmの供試体では見掛けの単位セメント量にほとんど比例して、圧縮強度が増加している傾向が認められる。すなわち、ふるい目が40mmの場合を境にして、ふるい目を小さくすると圧縮強度が増加するが、大きくするとほとんど増加しないという傾向を示した。このように、ウエットスクリーニングによって見掛け上増加した単位セメント量は、特にふるい目が25mm以下の場合、コンクリート強度の増加に影響する1つの要因となっている。しかし、これは圧縮強度など供試体の最終的な破壊の結果から得られたものであり、コンクリートの内部の破壊の挙動を追跡し検討したものではない。特に、コンクリート内部では、粗骨材下面付近にブリージングによって空隙が発生し、粗骨材のGmax が大きくなるほど空隙が大きくなるものと予想される。すなわち、Gmax が大きくなるほどコンクリート強度へ影響を及ぼす可能性がある。そこで、実験Ⅱでは、コンクリートの内部の挙動に着目し、粗骨材のコンクリート強度に及ぼす影響について検討することにした。

#### 4. 実験Ⅱ

##### 4.1 供試体の種類と配合

45×30×30cmの供試体を作製し、45×30×15cmの大きさとなるように中央で縦に切断して、図-2に示すような供試体を作製した。

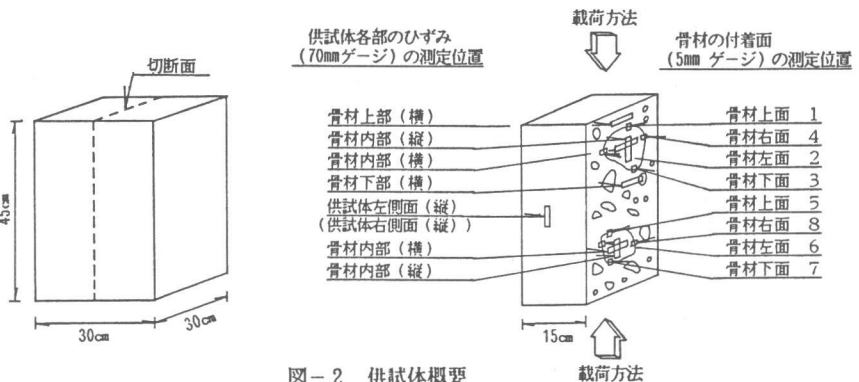


図-2 供試体概要

表-6 実験Ⅱの配合

単位水量の種類	粗骨材の最大寸法 (mm)	スランブ (cm)	空気量 (%)	水セメント比 W/C	細骨材率 s/a	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )											
						水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G								計
									150~80mm	80~40mm	40~25mm	25~20mm	20~15mm	15~10mm	10~5mm		
大	150	11.5	1.0	49	28.5	140	286	589	443	414	251	74	89	89	118	1478	
中		7.5				131	267	600	452	422	256	76	90	90	121	1507	
小		2.5				120	245	614	463	432	262	77	92	92	124	1542	

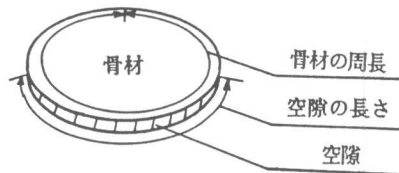
なお、実験Ⅰと同一の骨材を使用した。配合はブリッジの影響を考慮して、表-6に示すように単位水量を大(140)、中(131)および小(120)の3種類として実験を行った。表-7に示すように、ウエットスクリーニングについては、ウエットスクリーニングを行わないもの、80mm、40mm、25mmで行ったものの計4種類を行った。

表-7 各供試体の圧縮強度

ウエットスクリーニングのふるい目(mm)	圧縮強度 (kg/cm <sup>2</sup> )		
	大(140)	中(131)	小(120)
150	342	333	364
80			358
40			389
25	393	464	464

4.2 実験方法

図-2に示すように、各供試体切断面上の2つの粗骨材の表面、および粗骨材とモルタルの付着面にひずみゲージを貼り、圧縮強度試験を行った。なお、載荷板に近接した位置の横ひずみは載荷板の拘束の影響を受けるため、できるだけ中央付近の粗骨材を選んだ。



4.3 実験結果および考察

図-3 空隙の長ささと周長

i) 粗骨材下面付近の空隙

表-8 空隙の大きさ

供試体の切断面の粗骨材下面付近には、図-3に示すような空隙が多く見られた。特に、ふるい目が25mm以下の供試体ではほとんど見られないが、ふるい目が40mm以上の供試体では顕著に見られた。空隙の長ささと周長を図-3に示すように定義すると、表-8に示すように、ふるい目が40mm以上の供試体では、空隙は骨材の周長に対して30~50%の長さには達していることが認められる。

ウエットスクリーニングのふるい目(mm)	単位水量	空隙の長さ (cm)		周長に対する長さの割合 (%)		
		No.1	No.2	No.1	No.2	平均
150	大	7	10	33	50	42
	中	17	17	35	42	39
	小	12	7	33	26	30
80	小	9	10	43	45	44
40	小	—	3	—	31	31
25	大	0	0	0	0	0
	中	1	0	20	0	10
	小	0	0	0	0	0

ii) 粗骨材とモルタルとの付着

表-9に各種供試体の最大荷重に対するボンドクラックの発生する荷重の比を示す。なお、ボンドクラックの発生荷重は粗骨材とモルタルの付着面に貼ったひずみゲージより求めた。ボンドクラックの発生時期および発生頻度については、表-9に示すように単位水量の差による違いは

明確には現れていない。しかし、ウエットスクリーニングによる違いは、 $G_{max}$  が40mmとなるようにウエットスクリーニングを行った供試体を境に明らかに現れている。すなわち、ふるい目が25mmの供試体ではほとんどボンドクラックは発生しておらず最後まで付着している。一方、ふるい目が80mm以上の供試体では全てボンドクラックが発生しており、初期載荷時に集中している。従来の研究では、 $G_{max}$  が25mm以下の場合、コンクリート圧縮強度の約40~60%でボンドクラックが発生すると言われている<sup>3)</sup>が、ウエットスクリーニングを行った供試体の場合には、ボンドクラックの発生する荷重は必ずしも圧縮強度の40~60%の範囲に入っているとは言えない。

また、供試体側面中央部に貼ったひずみゲージより各荷重段階での変化をみると、図-4に示すように、載荷されるとまず圧縮方向にひずみを生じ、載荷中その後一度引張方向にひずみが戻り、また圧縮方向にひずみが生じる現象がすべて供試体で認められた。これは、側面において一時的に応力の減少が生じていることを表している。この現象が生じる荷重を最大荷重で除した値を表-9に▲を用いて示す。この結果、供試体側面中央部に生じるひずみの変化の時期と、ボンドクラックの発生時期はほとんど同じであることが明らかとなった。これはボンドクラックが集中して生じたので、それが現れたものと考えられる。すなわち、コンクリート内部の挙動を推測すると、載荷中骨材の両側面付近にボンドクラックが生じ、その後すぐに骨材の上下部に応力が集中する。そのためモルタルへの応力伝達は減少され、骨材に大きな応力がかかる。その後、応力が再配分され、ボンドクラックが生じる前と同様に応力が伝達され、破壊に至ると考えられる。そして、大きな骨材ほどその傾向が顕著になっている。

i) と ii) の結果より、粗骨材の空隙は40mmのふるい目でウエットスクリーニングを行った供試体を境に、存在の有無がはっきりとしているが、付着状況についてもふるい目が40mmの供試体を境にボンドクラックの生じる頻度が異なり、空隙の有無がボンドクラックの発生に大きく影響していることが言えよう。特に、ふるい目が80mm以上の全供試体で空隙が存在し、かつボンドクラックが発生している。このようにウエットスクリーニングを行うと、40mmのふるい目を境にしてコンクリート内部の状態および挙動が大きく相違することが明らかとなった。

表-9 各供試体の最大荷重に対するボンドクラックの発生荷重の比

ウエットスクリーニングを行うふるい目及び単位水量	ボンドクラックの発生する荷重 / 最大荷重 (%)				備考
	20	40	60	80	
150mm 大	2, 6, 8	4, 6, 8	▲		
150mm 中	4, 8	▲		6	
150mm 小	2, 8	4, 6	▲		
80mm 小	6, 8		▲	2, 4	
40mm 小	6		8		2, 4 発生せず
25mm 大			4		2, 6, 8 発生せず
25mm 中			4		2, 6, 8 発生せず
25mm 小			2		4, 6, 8 発生せず

注) 番号は図-2に示す5mm ゲージの位置を示す。

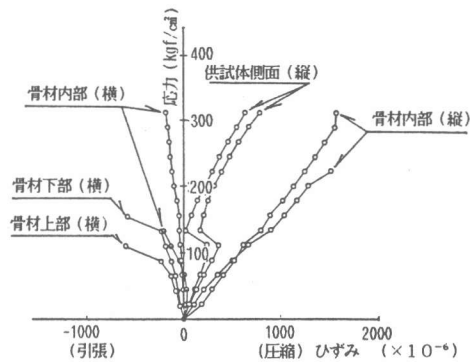


図-4 供試体側面中央部のひずみゲージの応力-ひずみ関係

の供試体で認められた。これは、側面において一時的に応力の減少が生じていることを表している。この現象が生じる荷重を最大荷重で除した値を表-9に▲を用いて示す。この結果、供試体側面中央部に生じるひずみの変化の時期と、ボンドクラックの発生時期はほとんど同じであることが明らかとなった。これはボンドクラックが集中して生じたので、それが現れたものと考えられる。すなわち、コンクリート内部の挙動を推測すると、載荷中骨材の両側面付近にボンドクラックが生じ、その後すぐに骨材の上下部に応力が集中する。そのためモルタルへの応力伝達は減少され、骨材に大きな応力がかかる。その後、応力が再配分され、ボンドクラックが生じる前と同様に応力が伝達され、破壊に至ると考えられる。そして、大きな骨材ほどその傾向が顕著になっている。

i) と ii) の結果より、粗骨材の空隙は40mmのふるい目でウエットスクリーニングを行った供試体を境に、存在の有無がはっきりとしているが、付着状況についてもふるい目が40mmの供試体を境にボンドクラックの生じる頻度が異なり、空隙の有無がボンドクラックの発生に大きく影響していることが言えよう。特に、ふるい目が80mm以上の全供試体で空隙が存在し、かつボンドクラックが発生している。このようにウエットスクリーニングを行うと、40mmのふるい目を境にしてコンクリート内部の状態および挙動が大きく相違することが明らかとなった。

### iii) 見掛けの単位セメント量の圧縮強度に及ぼす影響

実験Ⅰで述べたように、ウエットスクリーニングによる圧縮強度の増加の原因として、見掛けの単位セメント量の増加が考えられる。そこで、図-5に示すように、単位水量が小の場合での見掛けの単位セメント量と圧縮強度との関係を求めた。その結果、実験Ⅰの場合と同様に、ふるい目が40mmの場合を境にして、ふるい目を大きくすると圧縮強度がほとんど増加せず、一方ふるい目を小さくすると圧縮強度が増加する傾向が認められた。これは、ふるい目が40mm以上の供試体では、空隙の増加やボンドクラックの発生により、圧縮強度の増加が抑制されるものと思われる。

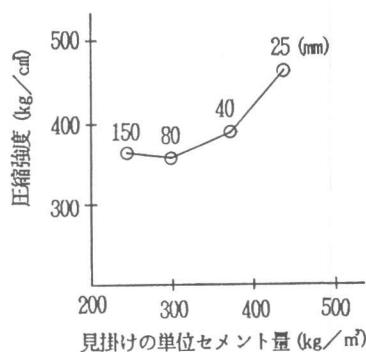


図-5 圧縮強度-見掛けの単位セメント量の関係(実験Ⅱ)

以上のことから、実験Ⅱでは、40mmのふるい目でウエットスクリーニングを行った供試体を境にして、40mm以上は空隙が多く、またボンドクラックの生じる頻度が多くなる。さらに、この空隙やボンドクラックは圧縮強度にも影響し、ふるい目が40mm以上の供試体ではほとんど圧縮強度が増加しないと言えよう。

したがって、実験Ⅰと実験Ⅱより、40mm以上のふるい目でウエットスクリーニングを行った供試体は、 $G_{max}$  が150 mmでウエットスクリーニングを行わない供試体と圧縮強度および内部挙動ともに類似した傾向を示すが、25mm以下のふるい目でウエットスクリーニングを行った供試体は、圧縮強度および内部挙動とも150 mmの場合と全く異なる傾向を示すことが明らかとなった。したがって、 $G_{max}$  が150 mmのダムコンクリートにおいてウエットスクリーニングを行う場合は、40mm以上のふるいを用いる必要があると言えよう。

### 5. 結論

- ① ふるい目が40mm以上の供試体では、ウエットスクリーニングを行わなかった供試体に比べ、見掛けの単位セメント量の増加の割合に対して、圧縮強度の増加の割合が少ないことが明らかとなった。すなわち、ふるい目が40mmの場合を境にして、ふるい目が40mm以上では圧縮強度はあまり増加しない傾向にある。
- ② 40mmのふるい目を境にして、40mm以上の供試体では空隙が多く、またボンドクラックの生じる頻度が多くなる。さらに、この空隙やボンドクラックは圧縮強度にも影響し、40 mm以上はほとんど圧縮強度が増加しないことが明らかとなった。
- ③ 40mm以上のふるいでウエットスクリーニングを行うと、 $G_{max}$  が150 mmでウエットスクリーニングを行わない場合の圧縮強度およびコンクリート内部の挙動と類似した傾向を示すが、ふるい目を25mm以下とすると圧縮強度および内部挙動とも150 mmの場合と全く異なる傾向を示す。したがって、 $G_{max}$  が150 mmのダムコンクリートにおいてウエットスクリーニングを行う場合は、25mm以下のふるいは不適當であり、40mm以上のふるいを用いる必要があると言えよう。

### 参考文献

- 1) コンクリート工学協会編：コンクリート便覧，技報堂，1976
- 2) 丸安，水野：コンクリート工学（三訂版），コロナ社
- 3) 小坂，谷川，太田：コンクリートの破壊挙動に及ぼす粗骨材の影響、建築学会論文報告集，第 228号，1975年 2月