

人工軽量コンクリートの施工法に関する研究(その4)

—造粒型骨材と非造粒型骨材の施工性の比較—

森 永 繁

成 田 一 徳

鳥 田 専 右

§ 1. まえがき

骨材に関して従来一般に、粒形の良好な骨材、すなわち、球に近いものの方が、ワーカビリティの点、あるいは所要の品質のコンクリートを生産するのに、より経済的である等の理由から、人工軽量骨材ではできるだけ球状の骨材が選ばれてきた。造粒型のものにはこのような完全に球に近いものが実現した訳であるが、その施工面において、別の問題点が生じている。

第1の問題は骨材自身の取扱い上の問題である。傾斜したベルトコンベヤーでは転がって登りにくいか、床に転がっている骨材に乗った時に足をとられて転び易いかという点である。高所作業を行なっている時は、墜落事故の怒れもあるので、これは決して軽視できない問題だと思われる。また骨材を山積みにする時は、骨材の安息角が小さいため、ストックパイルに、非造粒型骨材に比し約1.5倍の面積を要するといわれている。この点も、場合によってはかなり重要な問題となる。

第2の問題は、コンクリートにした場合の、運搬、打込み、締固め時の、粗骨材の浮上がり分離である。骨材比重が同じであれば、分離は、骨材と、結合材であるモルタルの重量差に起因するが、骨材の表面に接するモルタルの粘着力によって分離が防がれている、したがってその分離傾向は骨材の比表面積に影響されるはずである。したがって比表面積があらゆる物体のうちで最小である球に近い、造粒型骨材では、分離傾向が大になることが予想される。また、コンクリートの打上がり性状は分離の影響を大きく受けることもさることながら、コンクリートの流動性や締固め手段に左右されることが多い。

ここでは主として、第2番目の問題に焦点を当て、まず、シュート流下時、内部振動機使用時、カート運搬時の分離性状を、造粒型、非造粒型骨材について比較し、最後にこれらを総合した結果として、壁の模型について打込み実験を行ない、両コンクリートの打上がり性状

を、使用した締固め手段、締固め作業量等と関連させながら比較した。

§ 2. 斜めシュート流下時の分離

斜めシュート流下時の分離に関しては、研究所報第8号⁵⁾に報告したが、その中から、粒型に関する事項のみをpick-upして、概要を再録する。

2.1 実験計画

幅が50cmの「コ」の字形の、長さ2mの鋼製の樋を作りこれを50度傾斜させてコンクリートを流下させた。流下後、シュート下の床に広がったコンクリートを流下方向に向って、前方、後方に二分し、それぞれのコンクリートの中から洗い試験によって粗骨材のみをとり出し、これを各コンクリート中の単位粗骨材量に換算した。分離の程度は、前方、後方の単位粗骨材量の差で表わした。なお、強度試験も合わせ行なった。

2.2 実験結果と検討(図-1)

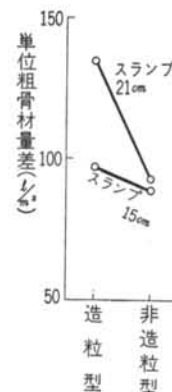


図-1 粗骨材粒型とスランブとの関係

i) スランブ15cm程度の比較的固いコンクリートでは、粒型により、分離度に差は現われないが、スランブが21cmになると、造粒型のは著しく分離するようになり、粗骨材のみが、相当遠くまで転がって行くような現象が認められる。それゆえ、造粒型骨材を用いたスランブの大きいコンクリートでは、斜めシュートの使用は注意を要する。

ii) 前方、後方で強度差が現われ、分離したコンクリートが打込まれると、部分的に強度的な「むら」が生じることがうかがわれる。

以上の結果は、さらに長いシュート、あるいはエビシュートを用いた時などにも、拡張して解釈することができると思われる。

§ 3. 内部振動機使用時の分離

密実なコンクリートを得るためには、軟練りコンクリートに対しても、内部振動機を積極的に使用するべきことは既報の通りであるが、^{2)~8),10)} 軽量コンクリートの場合には、これを使用し過ぎると粗骨材の浮上がり分離をきたし、上に打ち継がれるコンクリートとの間に Cold joint を生じ一体化が阻害される恐れがある。

3.1 実験計画

φ15×30cm のシリンダーを写真一に示すように2個接続し、これにコンクリートを満たし、所要の時間だけ内部振動機を作用させた後、シリンダーを軸と直角方向にせん断し、内部のコンクリートを上下に分けた。その後、洗い試験により粗骨材のみをとり出し、粒大別にその重量を上下で比較した。分離を表わす特性値は次式で表わした。

$$\text{分離度} = \frac{\text{上方の粗骨材重量}}{\text{下方の粗骨材重量}} \times 100(\%)$$



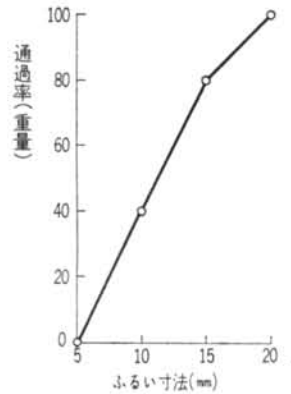
写真一 内部振動機使用時の分離実験

使用した要因、水準は表一に示す。なお内部振動機は100Vの電動式のものである。(7200r.p.m 振動体φ30mm 長さ50cm)

水準	第1水準	第2水準	第3水準
要因			
粗骨材粒型	造粒型 (ピルトン)	非造粒型 (メサライト)	—
振動時間(秒)	5	10	30
スランプ(cm)	15	21	24

表一 要因と水準 (内部振動機使用時の分離)

骨材の粒度分布は、造粒型、非造粒型とも、図一に示す粒度分布となるよう、粒度調整して使用した。材料の諸性質は表二に示す。



図一 粒度分布

粗骨材 粒径	表乾比重				吸水率(%)			
	5~10	10~15	15~20	5~20	5~10	10~15	15~20	5~20
造粒型 (ピルトン)	1.64	1.41	1.19	1.46	9.59	7.67	8.85	8.67
非造粒型 (メサライト)	1.32	1.30	1.25	1.30	17.65	17.65	15.95	17.31

表二 使用した材料の性質 (内部振動機使用時の分離)

3.2 実験結果と検討 (図三~図八)

- i) 粒大別に上下重量を比較してみると、上下方向分離は粒大が大きい部分ほど著しい。
- ii) 上下方向分離度は、スランプの増大とともに著しく増す。スランプ15cmほどでは、視覚的にも表面に浮上している骨材は少ないが、24cmにもなると、表面から2~3cmは粗骨材だけの層となっており、上に打ち継がれたコンクリートの層との間に Cold joint を発生させる原因となるので注意を要する。
- iii) 振動時間の増大により分離度は進行する。振動時間5秒程度では、粒大の大きい部分もほとんど分離を生じていないが、30秒になると、表面に粗骨材だけの層が形成する。このことから、内部振動機は1個所に長時間かけずに、短時間ずつ、各所にまんべんなく使用することが必要なことがうかがわれる。
- iv) 造粒型と非造粒型による差は認められなかった。

§ 4. カート運搬時の分離

4.1 実験計画

6) カート運搬による分離実験は、研究所報9号にも報告した。今回行った実験も、装置、方法等は前報と同じであり、カートにコンクリートを入れ足場を一定距離運搬した後、上下方向の分離度を求めた。洗い試験により粗骨材のみを取り出し、これを上下コンクリート中の細骨材率に換算し、分離度は、上下の細骨材率の差で表わした。カートから排出した後のコンクリートを排出方

向前方、後方に二分、それぞれについて、分離度、強度を求めた点も、前報と同様である。

使用した要因、水準、および使用した材料の諸性質はそれぞれ表-3、表-4に示す。なお造粒型骨材（ビルトン）は、最近15mm以上の粒を除去して販売されるようになった。したがって、最大粒径は非造粒型のものと異なるが、粒大は異なったまま、そのままを使用した。

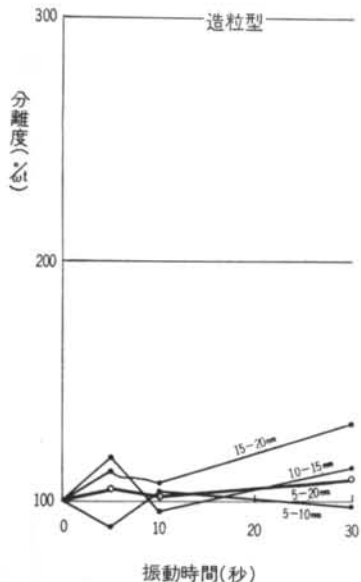


図-3 振動による上下方向分離（スランプ14.5cm）

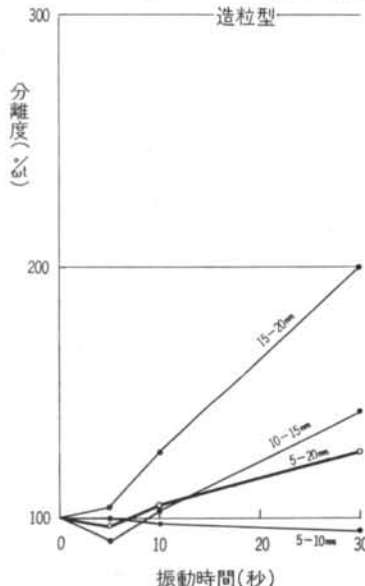


図-4 振動による上下方向分離（スランプ20cm）

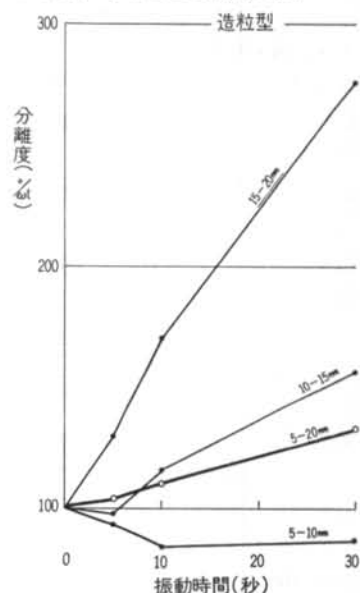


図-5 振動による上下方向分離（スランプ23.5cm）

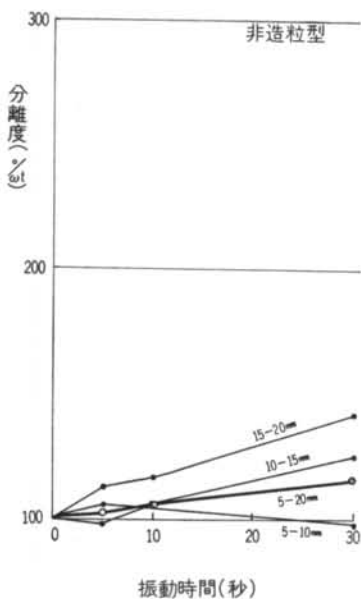


図-6 振動による上下方向分離（スランプ14cm）

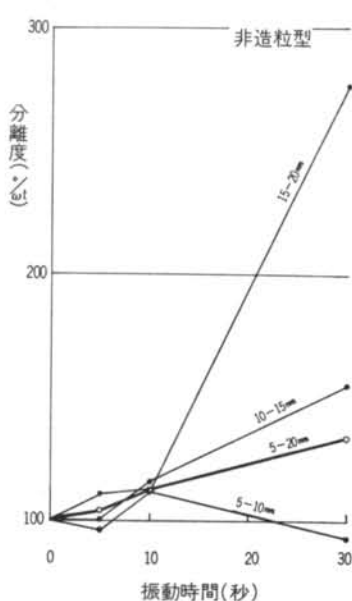


図-7 振動による上下方向分離（スランプ21cm）

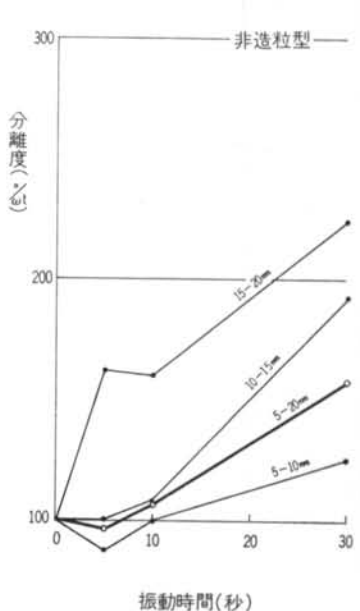


図-8 振動による分離（スランプ24cm）

要因	水準		
	第1水準	第2水準	第3水準
A 粗骨材粒型	非造粒型 (セイライト)	造粒型 (ビルトン)	—
B スランプ(cm)	15	20	24
C 運搬距離(m)	20	60	120

表一三 要因と水準 (カート運搬時の分離)

		種類	産地	粗粒率	最大粒径	表乾比重	吸水率	浮粒率	単位重量(含水率)
粗骨材	非造粒型 (セイライト)	—	6.74	20mm	1.36	12.0 o/wt	4.50/wt	904kg/m ³ (9.16)	o/wt
	造粒型 (ビルトン)	—	6.25	15mm	1.30	13.1 o/wt	6.20/wt	838kg/m ³ (3.30)	o/wt
細骨材	川砂	鬼怒川	2.41	2.5mm	2.65	2.35 o/wt	—	1642kg/m ³	(—)

表一四 使用した材料の性質(カート運搬時の分離、壁の模型を使った打込み実験)

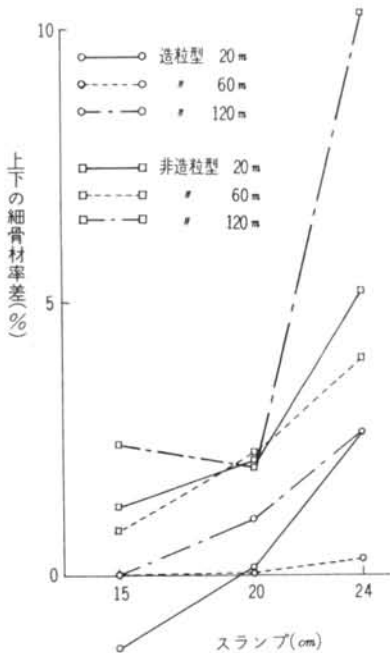
4.2 実験結果と検討

4.2.1 上下方向分離 (図一9)

i) 一般的な傾向として分離度は非造粒型のものが大であった。比重は両者ほぼ同じであるので、分離度が比表面積の大小により左右されると考えれば、結果は逆に出るはずである。それにもかかわらず、このようには、きりした逆の傾向が現われた理由は、造粒型骨材の最大粒径が、非造粒型のそれより小であったためだと考えられる。このことは §-3 で述べたように、分離を生ずるのが主として大粒の部分であることから、推定がつく。

したがって、粒型だけの効果を抽出しようとするれば、両者の最大粒径および粒度分布を同一にして試験を行なって見る必要があるが、市販されている骨材をそのまま使用すれば上記のような結果になるといえる。

ii) 軽量コンクリートは運搬初期に分離が激しく、運搬距離20m以上では、それ以上著しい分離が進行しないことは前報でも報告したが、今回も同様な傾向が認められ



図一9 上下の細骨材率差とスランプ運搬距離の関係

た。

しかし、スランプが24cmにもなると、運搬距離の増大により、著しい分離度を示すものも認められる。

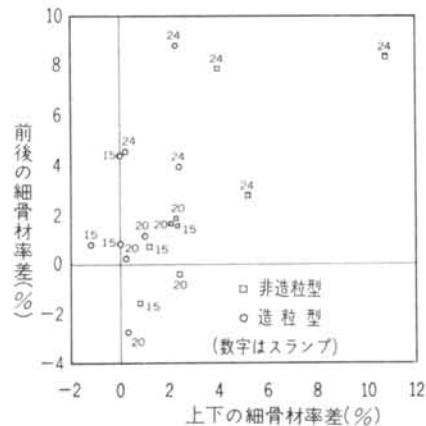
iii) スランプが増大すると、分離度も増大する。スランプ15cmと21cmでは明らかな差は認められないが、それ以上に軟くなると、急激な分離が生じるようになる。この傾向は非造粒型のものに著しかった。

4.2.2 上下方向分離と前後方向分離の関係 (図一10)

i) 前報では両者の相関係数は $r = -0.08$ であった。すなわち、カート内で上下方向分離を生じても、カートから排出された時に攪乱されるので、上下方向分離の影響は打込み時にまでは及ばないと結論した。しかし、これはスランプ21cm以下の比較的プラスチックな範囲のコンクリートについて行なった実験の結果である。このようなスランプの範囲のものについては、今回の実験でも、ほぼ同様のことがいえる。(相関係数 $r = 0.152$)

ii) しかし、スランプが24cmにもなると事情は異なり、分離が激しいために、上下方向分離と、前後方向分離との間には、かなりはっきりした相関性が認められ ($r = 0.356$) カート内で上部に浮いた骨材は、排出後に、排出方向前方に片寄ることがうかがわれる。

iii) 粒型による上記、i) ii) の傾向の差は認められなかった。



図一10 前後の細骨材率差と上下の細骨材率差の関係

4.2.3 上下方向分離と前後方向強度差の関係(図-11)

i) 上記4-2-3-i)に示したような理由から、スランプ21cm程度以下のコンクリートでは、前後方向の強度差は現われなくても当然である。(r=0.124)このような範囲のスランプについて行なった前報の実験でも、r=-0.04となったため、カート運搬により上下方向分離は生ずるが、この分離は、強度差を生ぜしめるほど著しくないと結論した。

ii) しかし、スランプが24cmにもなると、上下方向分離が著しいため、排出後、排出方向前方には粗骨材が、後方にはモルタル分が片寄るため、上下方向分離と、前後方向強度差との間には、かなりはっきりした相関関係が認められ、(r=0.795)材命4週で、前、後方の強度差は30kg/cm²に達した。(後方の強度大)

したがって、強度的な「むら」を生じさせないためには、このようにスランプが大で分離度が激しい時は、打込む前の練り返しが必要となろう。

iii) 粒型による上記 i) ii) の傾向の差は認められなかった。

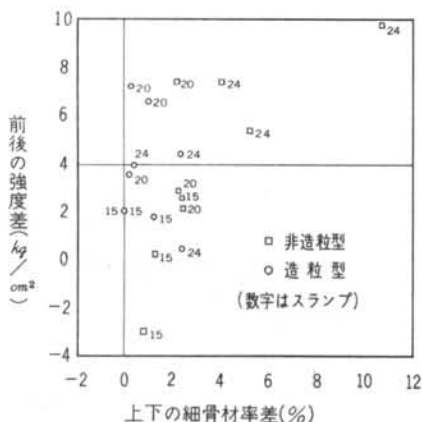


図-11 前後の強度差と上下の細骨材率差の関係

§ 5. 壁の模型を使った打込み実験

人工軽量コンクリートには、打上がり後、Cold joint 気泡等が生じやすく、豆板も粗骨材の色の関係で、普通コンクリートと比較した時、より目立ち易いことは既報^{2)~8), 10)}の通りである。

また研究所報⁷⁾10号に報告した、壁の模型を使った打込み実験により、これらの不良個所が生ずる原因およびその対策等について、一通りの結論は得られている。

今回も、所報10号の実験とほぼ同様な方法を用いて、造粒型、非造粒型、両骨材コンクリートの、流動性、充

填性、不良個所の発生状態等を、使用した締固め手段、締固め作業量等と関連させながら、比較検討した。

5.1 実験計画

5.1.1 表-5に示すものを選び、実験計画法に従って行なった。なお使用した材料の性質は表-4に示すものと同一である。

細骨材率：試し練りを行って適当であると定めた値に±3%の補正を行なった。

締固め方法：打込み高さ30cmごとに、表中の締固め手段を用いて締固めを行なった。締固め作業量は第1回目の実験、第2回目の実験で、それぞれ表中の上段、下段の値を採用した。(D₁ D₂で表わす)

水準	第1水準	第2水準	第3水準	第4水準
要因				
A 粒骨材粒型	A ₁ 造粒型 (ピルト)	A ₂ 非造粒型 (セイライト)	—	—
B スランプ	B ₁ 15cm	B ₂ 20cm	—	—
D 締固め方法	パイプブレータ	たたき	つき	無処理
	D ₁ D ₁₁ 10秒	D ₁₂ 30回	D ₁₃ 20回	D ₁₄ 無処理
	D ₂ D ₂₁ 20秒	D ₂₂ 60回	D ₂₃ 40回	D ₂₄ 無処理
E 細骨材率	E ₁ +3%	E ₂ -3%	—	—

表-5 要因と水準 (壁の模型を使った打込み実験)

5.1.2 型わく(図-12) 型わくは窓台部分を含む壁の模型を用いた。せき板はラワン合板(厚さ12mm)で、剝離剤(センヒット特号)を塗布して使用した。

5.1.3 鉄筋(図-12)

鉄筋は縦筋は13φ横筋は9φを使用した。なおかぶり厚さとScreeningの発生状態を関連づけるため、かぶり原さを図に示すように、一面で4cm、他面で2cmとした。

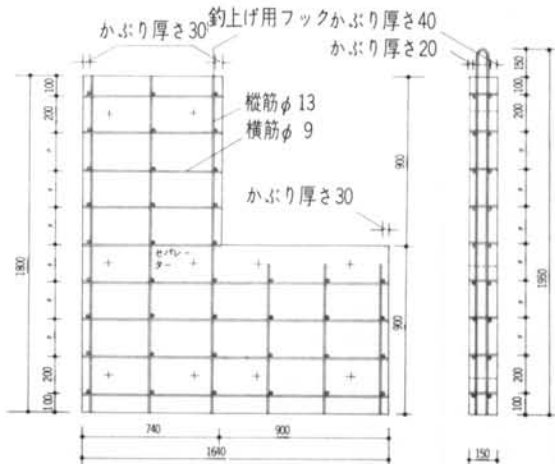


図-12 試験体の型わく鉄筋

5.2 実験結果と検討

以下に示す特性値は、試験体の写真をとり、主としてこれを媒介にして測定した。(分散分析の結果有意差が現われたもののみを図示した。図中*, **はそれぞれ5%, 1%の有意水準を示す)

5.2.1 Cold joint

本実験ではすべての供試体は、打継時間間隔が生じないように連続して打込んだので、Cold joint は発生しなかった。Cold joint が発生するのは

- i) 打継時間間隔が長くなり、下層コンクリートがある限度以上に硬化した上に、上層が打込まれた時
- ii) あるいは、下層のコンクリートの硬化度がある限度以下であっても、打継部に対する締固め作業がなされなかったか、不十分であった時
- iii) 下層のコンクリートに内部振動機等を過剰に使用しすぎ、下層のコンクリートに粗骨材の著しい浮上がり分離が生じた時である。したがって造粒型、非造粒型により Cold joint の発生状態に差があるとすれば、iii) に示した粗骨材の浮上がり分離性状に、差がある時であろうと思われる。この点はすでに §-3 で示したように、両者に有意な差が認められないので、Cold joint の発生も両者に差はないと考えられる。

5.2.2 充填率(流動性)(図-13~15)

流動性が良好なことも、まだ固まっていないコンクリートの重要な性質である。流動性が問題になるのは、特に梁の鉄骨下端、窓台下などであるが、今回は窓台下に対する充填率で流動性を判断した。充填率は、図-13に示した斜線部分の面積に対する、この部分に充填されたコンクリートの面積(%)で表わした。

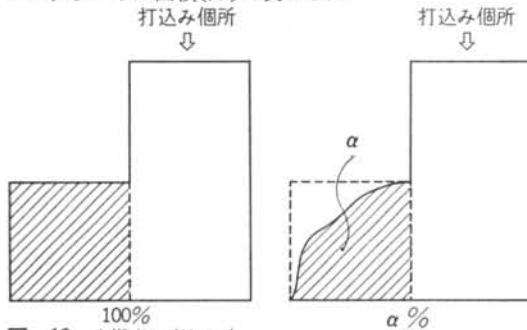


図-13 充填率の表わし方

- i) 粒型による差は認められず、いずれも同等の充填率を示した。
- ii) スランブが大なるほど充填率は大きである。このことは経験的事実と一致する。(図-14)
- iii) 細骨材率は大きいほど充填性は良くなると考えられるが、今回用いた程度の細骨材率の差では、充填率に明

らかな差は現われなかった。

- iv) 締固め方法により著しく異なり、パイプレーターが有効である。また締固め作業量を増してやることも有効であるが、粗骨の浮上がり分離に対しては、ある程度の注意が必要である。(図-15)

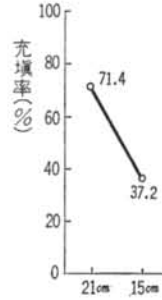


図-14 スランブと充填率との関係

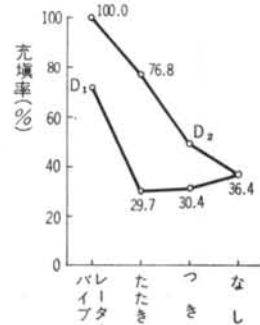


図-15 締固め方法と充填率との関係

5.2.3 豆板率(図-16)

打込まれたコンクリートの全面積に対する、豆板部分の面積の比(%)で、豆板率を定義した。

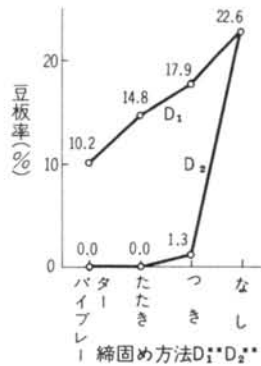


図-16 締固め方法と豆板率との関係

- i) 粒型による差は認められなかった。造粒型のものには豆板が生じ易いというクレームが現在まで多かったようであるが、15mm以上の粒を除去して販売されるようになってから(ビルトン)、豆板発生もかなり減少したようである。

しかし、同一面積の豆板が生じても、造粒型の豆板は栗おこしにそっくりの豆板となるため、非造粒型の

ものに比し、より目立ち易い。

- ii) 締固め方法によってもはっきりした差が現われ、パイプレーターが優秀である。流しこみだけで処理を施さないと大量の豆板が発生する。したがって軟練りのコンクリートに対しても、何らかの締固めは、ぜひ必要である。締固め作業量を増大させてやることにより、豆板は著しく減少させることができる。したがって、副作用を生じさせない範囲内での、入念な締固め作業が望ましい。(図-16)

5.2.4 気泡(図-17, 試験体一面当りの個数で示す。測定方法は所報10号に準じた。)

i) 粒型による差は認められない。気泡の発生に関係するのは、調合的には、コンクリートの比重、空気量等が主であり、したがってこれらの条件がほぼ等しい両方のコンクリートには、気泡の発生状態に差が現われなくても当然である。

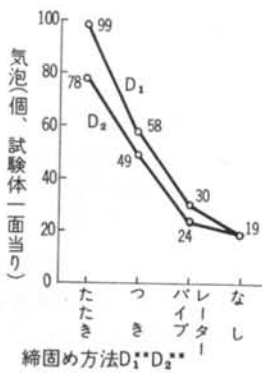


図-17 縮固め方法と気泡との関係

ii) 締固め方法別では、たたきを施すと気泡が多くなるのは、既往の実験の通りである。発生する気泡の量

は締固め作業の量とは無関係であった。このことは、わずかな締固め作業を行なっただけでも、その締固め手段に特有の気泡を発生させてしまい、以後、締固め作業の量を増大させても、気泡数は増減しないことを示していると思われる。したがって気泡数の増加を恐れて、たたき作業の量を加減するのは無意味であり、使用するなら、コンクリートのその他の性質を改善する上からも、躊躇せずに積極的に使用した方が望ましいと考えられる。(図-17)

5.2.5 スクリーニング (図-18~図-21)

特性値のとらえ方に問題があるが、縦横に組まれた鉄筋の交点と交点との間を1個所と数え、この個所で生じたスクリーニングの数を特性値とした。

i) 粒型による差が認められ、非造粒型の方に多く発生した。これは非造粒型の方の粒大が、造粒型のそれより大であるから当然である。(図-18)

ii) かぶり厚さが小さい方に現われやすい。締固め処理を施さないと、かぶり厚さを4cmにとっても、多量のスクリーニングを生ずることがあるから注意を要する。(図-19)

iii) スランプは大なる方が流動性が良いためか、スクリーニングは少なかった。(図-20)

iv) 締固め方法によっても著く異なり、ここでもパイプルーターが優秀である。また締固め作業量の効果も大きくどのような締固め方法をとっても、これを入念に施せばスクリーニングを非常に少なくすることができる。(図-21)

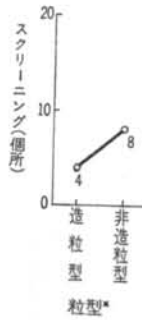


図-18 粒型とスクリーニングの関係

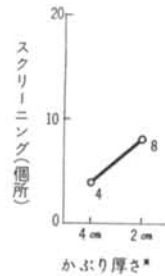


図-19 かぶり厚さとスクリーニングの関係

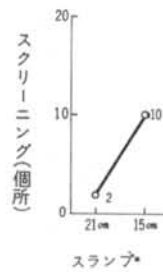


図-20 スランプとスクリーニングの関係

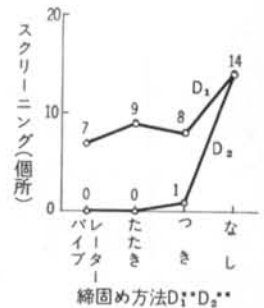


図-21 締固め方法および締固め作業量とスクリーニングの関係

運搬時の粗骨材の浮上がり分離、および打上り後の表面性状について、造粒型と非造粒型コンクリートの施工性一般を比較した。

〔造粒型のもは(ビルトン)最近15mm以上の粒を除去して販売され始めたので、ここに報告したいいくつかの実験のうち、最近行なったものでは、造粒型骨材と非造粒型骨材の最大粒径が一致していない。したがって得られた結果に差が認められたにしても、粒型の相違のみによってこれが生じたものと断定するのは早計だと考えられる。しかし、少なくとも、市販されている骨材をそのまま使用すれば、ここに示したような傾向になるといえる。〕

i) 外部から何らかの力を受け、コンクリート中の粗骨材が浮上がり分離を生じようとする傾向は、主として粗骨材の粒大に関係し、比表面積の小さい、粒大の大きいものに著しい。

ii) 同一粒大のもので、造粒型、非造粒型のを比較しても、分離性状に著しい差は認められなかった。しかし、*同一粒大、という言葉も意味が曖昧である。すなわち、ここではふるい目の形状が角目のものを使用して骨材の粒大を決定したが、例えば、ふるい目の大きさが

§ 6. 結論

以上、シュート流下時は、内部振動機使用時、カート

aなるふるいを通過しうる最大の球と、立方体の「みかけ」の比表面積を求めてみると（「みかけ」としたのは、両者の体積が異なるためである。真の比表面積は同一体積のものについて求めなければならない。）

$$\text{球: } \frac{\text{表面積}}{\text{体積}} = \frac{4\pi \left(\frac{a}{2}\right)^2}{\frac{4}{3}\pi \left(\frac{a}{2}\right)^3} = \frac{6}{a}$$

$$\text{立方体: } \frac{\text{表面積}}{\text{体積}} = \frac{6a^2}{a^3} = \frac{6}{a}$$

このように両者等しくなる。(比重は同一と仮定する) 1辺の大きさがaで、高さがaより大きい棒状の骨材もこのふるいを通過し、比表面積は球より小となる。造粒型のものを球、非造粒型のものを立方体あるいは棒状と仮定するには問題があろうが、少なくとも角目のふるいを用いて両方の骨材の粒大を決定した場合には「同一粒大」であっても「みかけ」の比表面積は必ずしも造粒型骨材の方が小になるとは限らず、非造粒型の方が小となることもあり得ることは推定がつく。したがって、造粒型、非造粒型により、分離性状に、このように明らかな差が現われなかった一応の理由は考えられる。

iii) 外部から受ける力がどのようなものであるにかかわ

らず分離度は、スランプの増大とともに増大を示した。スランプ21cm程度までは、分離が生じてコンクリートの取扱いが困難になったり、打込まれたコンクリートの強度に悪影響を及ぼしたりすることはないが、スランプ24cm程度の極端に軟いものでは、弊害が現われることもあるので注意を要する。

iv) コンクリートの打上がり性状にも、造粒型、非造粒型により明らかな差は現われなかった。ただし、豆板等が生じた場合には、それが同一面積であっても、造粒型のもは粟おこしにそっくりの豆板となるため、より目立ち易い。

以上より、骨材自身の取扱い方に関しては、造粒型、非造粒型でかなりの差が認められるが、練り混ぜてコンクリートにしてしまった後では、その施工性にそれほど差は認められないといえる。ただし、シュート流下時のように、造粒型と非造粒型で著しく異なった現象を示すこともあるので(造粒型のものでは、分離した骨材が相当遠くまで転がって行くこともある)このような時には、部分的ではあるが、ある程度異なった注意を向ける必要がある。

＜参考文献＞

- 1) 鳥田, 森永, 成田: “人工軽量コンクリートの施工法に関する研究 (第一報)” 日本建築学会関東支部学術研究発表会梗概集 第37回, 第2部, 昭和41年
- 2) 鳥田, 森永, 成田: “人工軽量コンクリート施工法に関する研究 (第二報, 第三報, 第四報)” 日本建築学会関東支部学術研究発表会梗概集 第38回, 第2部, 昭和42年
- 3) 鳥田, 森永, 成田: “人工軽量コンクリートの施工法に関する研究” 材料 Vol. 15 No. 137 Oct. 1966
- 4) 鳥田, 森永, 成田: “人工軽量骨材コンクリートの施工記録 (大井町第一生命ビル本社社屋)” コンクリートジャーナル Vol. 5 No. 3 Mar. 1967
- 5) 鳥田, 森永, 成田: “人工軽量コンクリートの施工法に関する研究 (その1)” 清水建設研究所報 Vol. 8 1966. 10
- 6) 鳥田, 森永, 成田: “人工軽量コンクリートの施工法に関する研究 (その2)” 清水建設研究所報 Vol. 9 1967. 4
- 7) 鳥田, 森永, 成田: “人工軽量コンクリートの施工法に関する研究 (その3)” 清水建設研究所報 Vol. 10 1967. 10
- 8) 鳥田, 森永, 成田, 山神: “人工軽量コンクリートの施工とその実験的検討” 清水建設研究所研究情報 No. 2 June. 1967
- 9) 白山和久: “人工軽量骨材の性質” コンクリートジャーナル Vol. 4 No. 12 Dec. 1966
- 10) 鳥田専右: “人工軽量骨材コンクリートの施工とその実験的検討” 日刊建設工業新聞社講習会テキスト
- 11) W. Plagemann: “Zur Ermittlung der Oberfläche eines Zuschlagstoffgemenges (I Teil)” Baustoffindustrie 1964. 8
- 12) W. Plagemann: “Zur Ermittlung der Oberfläche eines Zuschlagstoffgemenges (II Teil)” Baustoffindustrie 1961. 9
- 13) Eugene Y. Huang: A test for evaluating the geometric characteristics of coarse aggregate particles” ASTM Proceedings Vol. 62, 1962
- 14)-1) B. Mather: “Shape, surface texture, and coatings”
- 14)-2) W. L. Dolch: “Porosity,”
- 14)-3) W. H. Price: “Grading and surface area” ASTM Special Technical Publication No. 169-4. 1966 Symposium on Significance of Tests of Concrete, 2nd Edition.