

V-26 吹付けコンクリートの配合に関する実験研究

鹿島建設株式会社 正員 中原 康
田 沢 雄二郎

I. はじめに

吹付けコンクリートとトンネルの一次覆工に用いることは、昨年に土木学会トンネル標準示方書が改訂され、新に吹付けコンクリートの項が設けられたことにより、今後、ますます盛んになるものと思われ。しかるに吹付けコンクリートの性質と配合との関係についての研究資料は非常に少なく現場施工にあつて、経済的なコンクリートを得るための配合設計を行なうことができず、経験的に過去の施工例を参考に配合を決めているのが実情である。そこで、吹付けコンクリートの配合設計を行なうための基礎資料を得る目的で、吹付けコンクリートの性質として、圧縮強度およびはね返り率ととりあげ、それらの性質に、各種配合条件がどのように影響を与えるかについて、直交表 $L_{27}(3^3)$ を用いて実験を行なつたので、その概要を報告する。

II. 実験方法

実験は圧縮強度とのはね返り率に関する実験に分けて行ない、それぞれ、表-1に示す要因と水準と直交表 L_{27} にかりつけて実施した。採用する要因と水準の範囲によつて実験の成否が左右するのでこれらで実施した現場実験や文献等を参考にし、できる限り現場施工に依つて実際の因子および水準を決定した。実験を行なうにあつて、各材料を計量する際に、水量が吹付け完了後でないことを確定しないので、%を仮定して計量し、吹付け完了後に実際に吹付けに練り混ぜ配合を算出した。

しに、表-1のセメント量は実際には若干異なつてくる。

使用材料および機械；セメント……普通ポルトランドセメント、細骨材…… $FM=2.07$ 、 254×356 の3種類、粗骨材…… $G_{max} 20mm$ 、 $FM=6.74$ 、急結剤……シグニットD、吹付け機……アリバ300、吹付け圧力 $1.5kg/cm^2$ 、吹付け距離 $1.0 \sim 1.2m$ 、吹付け角度……吹付け面に直角

圧縮強度に関する実験；垂直に固定した $1m \times 1m \times 20mm$ のパネルに各配合のコンクリートと吹付け、材令2～3日で $\phi 10cm$ のコアを採取し、所定の材令で標準水中養生を行なつた。強度試験は材令7、28、91日で行ない供試体本数はそれぞれ3～4本とした。

はね返り率に関する実験；垂直に固定した $1m \times 2m \times 20mm$ のパネルに3～5cmのモルタルを吹付けで硬化した後、その上に各配合のコンクリートと吹付け、はね返つたものの重量を測定し、ノズルから吐出された全材料の重量との比率によつてはね返り率を算出した。

1表 各要因の水準値

要因		水準	水準 1	水準 2	水準 3
細骨材率 (B)			50%	75%	100%
単位 セメント量 (A)	B ₁ のとき		300kg/m ³	400kg/m ³	500kg/m ³
	B ₂ のとき		350kg/m ³	450kg/m ³	550kg/m ³
	B ₃ のとき		400kg/m ³	500kg/m ³	600kg/m ³
細骨材の表面水 (C)			乾 燥	中 (C ₁ と C ₃ の中間値)	可能な最大の表面水
細骨材の粒度 (D)			細目 (F.M.=2.07)	中目 (F.M.=2.54)	粗目 (F.M.=3.56)
急 結 剤 量 (E)			単位セメント量の 2%	単位セメント量の 4%	単位セメント量の 6%
送 水 量 (F) (%)			少	中 (F ₁ と F ₃ の中間値)	多
ノズル マン (G) [はね返り率のみ]			吹付けに関する知識はない が若干経験のある者	吹付けに関する知識が豊富 で経験のある者	吹付けに関する知識はある が経験のない者

注) 吹付け時の観察によつて、セメントなどの粉塵が多くならない程度に送水量を少なくした状態(少)、はげ落ちない範囲でできるだけ送水量を多くした状態(多)、およびその中間の状態(中)。

Ⅲ. 実験結果および考察

各実験結果の分散分析結果と表-2, 3に示し、分散分析の結果寄与率の大きい要因の主効果および、交互作用を図-1, 2に示す。

1. 圧縮強度; いずれの材料においても細骨材の粒度の寄与率が最も大きくなっており、粒度が粗い程、圧縮強度は大きくなっている。セメント量の影響は、セメント量が最も多い場合に強度が低下しているが、これは、セメント量が過多になると、ノズルから吐出する各材料が分離し、断続的になる傾向が観察の結果、認められており、そのために水との撈拌も不十分になったためと思われる。水の影響は比較的小さいが、これは配合と決めるに依り、水に依じてセメント量と変化させていることの影響が大きいものと考えられる。送水量の影響は送水量の増加にもなって強度低下を示しているが、全配合の水と圧縮強度との関係を検討してみると必ずしも一定の傾向を示しておらず、水が小さくとも圧縮強度が非常に小さくなっている場合も多く見受けられる。圧縮強度の全平均は、 $\sigma_c = 107 \text{ kg/cm}^2$ で、同一配合の普通コンクリートと比較するとかなり強度が低くなっている。この原因は急結剤による影響が大きいと思われるが最も大きな原因として、空隙が考えられる。圧縮強度と単位体積重量との関係を図-3に示す。

2. はね返り率; 有意な要因は細骨材の粒度、細骨材率、セメント量、送水量である。細骨材の粒度の寄与率が圧縮強度の場合と同様、最も大きく、粒度が細かいほどはね返り率は小さくなっている。水の影響も大きくなっているが、この場合は圧縮強度の場合とは逆に水に依じてセメント量と変化させていることが必ずや影響を大きくしにものと考えられる。

Ⅳ. 結論

吹付けコンクリートの圧縮強度およびはね返り率に共通して大きな影響を及ぼす要因として細骨材の粒度が挙げられ、細骨材率、セメント量も比較的大きな要因であることが分かった。しかし、圧縮強度を大きくするような配合は、はね返り率とも大きくする傾向を示すに、経済的で合理的な配合設計を行なうためには、施工現場において経済的に得られる細骨材の性質に応じて、所要強度と満足するような細骨材率、セメント量等と決める必要があることが分かった。

参考文献; 中原, 田沢; トンネル工としての吹付コンクリートの基本的性状について 土木学会第23回年次学術講演会

表-2 各材料における圧縮強度試験結果の分散分析

要 因	7日		28日		91日	
	Fo	p	Fo	p	Fo	p
F(送水量)	3.2*	1.4	10.2**	3.7	6.8**	4.1
A(単位セメント量)	12.4**	7.2	29.5**	11.4	16.4**	10.8
C(細骨材の表面水)	7.0**	3.7	5.2**	1.7	3.4*	1.7
B(細骨材率)	7.5**	4.1	13.1**	4.8	5.5**	3.1
D(細骨材の粗粒率)	45.3**	27.8	69.0**	27.1	29.7**	20.2
E(急結剤量)	16.5**	9.7	21.4*	8.1	18.6**	12.3
F × A	5.9*	6.2	4.7*	3.0	5.7**	6.6
F × C	10.4**	11.8	23.1**	17.6	4.4**	4.8
F × B	3.5	3.1	2.1	1.4	0.3	—

注) Fo: F値, p: 寄与率 ** : 1%で有意
* : 5%で有意

表-3 はね返り率測定結果の分散分析

要 因	F (送水量)	A (単位 セメント 量)	B (細骨 材率)	D (細骨材 の粒度)	G (ノズル マン)
Fo (F 値)	7.9**	10.6**	18.5**	21.1**	3.5
a (寄与率) (%)	9.2	12.9	23.3	26.7	3.3

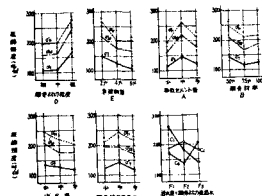


図-1 各要因と圧縮強度との関係

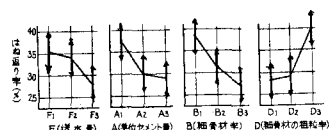


図-2 各要因とはね返り率との関係

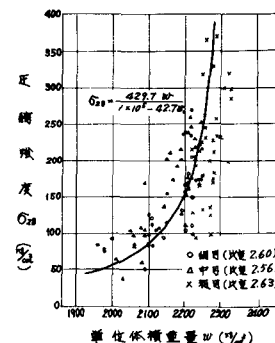


図-3 圧縮強度 σ_c と単位体積重量 W との関係