

八幡化学工業株式会社 正 員 ○ 阪 本 好 史

〃 富 沢 年 道

〃 森 山 容 州

1 はじめに

No-Fines Concrete (以下NFCと略記する) というのは、細骨材を除いたコンクリートである。文献¹⁾によるとNFCのoriginはオランダにあるともいい、1929年には英口のエジンバラに50戸、續く数年のうちに800戸の家を作っているという。最近では擁壁、トンネル、軟弱地盤の改良、或は建築物の内外壁、間仕切、床下の充填などに、その空隙による透水性や熱伝導性(同厚の堅レンガと同程度)を利用しようとしており、研究報文²⁾³⁾もある。また透水性を利用した集水管やU字溝などの二次製品も作られている。この報文はNFCの圧縮強度に対して、使用する骨材の種別や配合条件がおよぼす影響について報告するものである。

2 実験の材料および方法

この実験に使用した骨材の性状は表-1、図-1に示す通りである。セメントは普通ポルトランドセメントを使用した。

NFCの配合は、砂利あるいは碎石に対して、C:Gを1:6, 1:8, 1:10とし、水セメント比は0.40, 0.35, 0.30とした。供試体の寸法は、

φ15×30cmを用い、打ち込みには棒状バイブレーターによって、型枠の外から1分間だけ締め固めた。養生方法は圧縮強度試験材令まで20℃水中養生を行った。

3 結果および考察

NFCの配合および試験結果は表-2に示す通りである。

(1) 今回の実験の配合の範囲からは、NFCにできる空隙量は、

	砂 利	碎 石
空隙量(%)	22	32
母標準偏差(%)	3	2

程度である。また空隙率と他の要因との関係としては表3～表4から、水量およびセメント量と相関が高く、負相関を示している。

(2) 使用する骨材の種別によって、上述の通り空隙率は異なり、圧縮強度は砂利の場合の方が、碎石使用の場合よりも大きい。

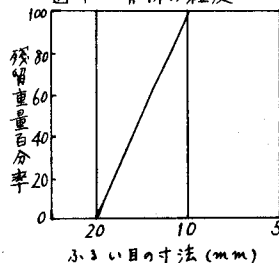
(3) まだ固まらないNFCの性質は、

a) 砂利の場合には、1:6, 1:8, 1:10の各配合とも混合、成形上ではあまり相異はなかった。一般に、 $\% = 0.40$ のものはサラットして混ぜやすく、 $\% = 0.30$ のものはペーストの濃度が高くて、モ

表-1 骨材の試験結果

種別	産地	比重	吸水率 (%)	洗い (%)	単位容積重量(%)	
					標準	輕盛
砂利	桂浜	2.64	0.7	0.2	1669	1594
碎石	門司	2.70	0.4	0.3	1560	1516

図-1 骨材の粒度



タモタした感じで、丁度軟かいオコシ状でミキサの内壁に付着しやすい。

成型に際しては、 $\%C=0.40$ のものは振動締固めで、ベーストが下方へ移動しやすく、供試体の上、下部の空隙量に差がでやすい。 $\%C=0.30$ のものは1分間の振動によっても、外観上はベーストの偏りは認められない程度であった。しかし、圧縮強度試験による破壊は全部供試体上部の空隙量の大きい部分で起り、ベーストに生ずる亀裂は殆ど軸方向に生じている。

b) 碎石を使用した場合には、各配合とも、混合、成形とも好調で、ベーストの分離しやすさの程度も、砂利の場合より小さかった。一般に貧配合のものほどサラットした感じで、 $\%C=0.30$ の場合でもミキサへの付着は少なく、砂利の場合より施工性、質の均一性は優れているようである。

表-2 試験結果

骨材の種別	C:G	$\%C$	単位量 ($\%m^3$)			7日		28日	
			W	C	G	空隙率($\%$)	強度($\frac{kg}{cm^2}$)	空隙率($\%$)	強度($\frac{kg}{cm^2}$)
砂	1:6	0.40	111	277	1662	16.6	53	17.7	69
		0.35	98	279	1672	18.1	70	17.9	99
		0.30	85	285	1708	20.2	95	19.7	109
	1:8	0.40	83	208	1664	21.9	47	22.7	61
		0.35	74	210	1680	22.4	69	22.7	69
		0.30	63	210	1680	23.9	88	23.9	105
利	1:10	0.40	66	165	1650	25.7	47	25.3	58
		0.35	58	167	1670	25.2	55	25.6	66
		0.30	50	168	1680	26.0	57	26.2	85
	1:6	0.40	96	240	1440	29.9	31	29.1	36
		0.35	86	246	1476	29.1	47	29.4	51
		0.30	74	245	1470	30.7	74	30.2	89
	1:8	0.40	75	187	1496	31.5	27	30.5	49
		0.35	65	187	1496	31.7	42	31.8	58
		0.30	56	187	1496	33.3	51	33.2	59
	1:10	0.40	60	151	1510	33.9	34	33.2	43
		0.35	53	150	1500	34.9	38	34.5	53
		0.30	45	150	1500	34.6	40	34.7	53

(4) 各要因間の単相関係係

結果の解析には、次の要因を採りあげた。

変数	Y	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6
要因	F_7	$\%C$	W	C	G	e	
	F_{28}	$\%C$	W	C	G	e	F_7

ただし、 F_7 , F_{28} : 材令7日, 28日の圧縮強度 ($\frac{kg}{cm^2}$)

W : 単位水量 ($\frac{kg}{m^3}$)

C : 単位セメント量 ($\frac{kg}{m^3}$)

G : 単位粗骨材量 ($\frac{kg}{m^3}$)

e : 単位空隙率

表3～表4から相関の大きいものについてみると、 F_{28} に対しては F_7 との相関性は高く、 $\%C$ とは負相関がある。 F_7 に対しては砂利、碎石の場合も共に $\%C$ との相関があり（危険率5%）、負相関を示す。

また碎石の方は、e と G との間に相関があるが、砂利では明らかでない。また、e と C、e と W の間には負相関を示している。

(5) 強度に対する重相関関係および偏相関関係などについて、

表-3 砂利 F_{28}

	単 相 関							偏 相 関							
	y	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅	x ₆	y	y	y	y	y	y	y	y
y	1							—	—	—	—	—	—	—	—
x ₁	-0.809 [*]	1						-0.631	-0.629	-0.443	-0.298	-0.930 ^{**}	-0.939 ^{**}	-0.328	-0.727 [△]
x ₂	0.064	0.454 [*]	1					-0.745	-0.785	-0.862 [△]	-0.259	—	—	-0.118	—
x ₃	0.528	-0.038	0.867 ^{**}	1				0.898	0.935 [△]	0.911 [*]	0.424	0.847 ^{**}	—	0.235	0.674 [△]
x ₄	0.766 [*]	-0.819 ^{**}	-0.063	0.407	1			-0.935	-0.937 [△]	-0.911 [*]	—	—	—	—	—
x ₅	-0.335	-0.181	-0.955 ^{**}	-0.968 ^{**}	-0.185	1		0.540	0.551	—	—	—	-0.835 ^{**}	—	—
x ₆	0.895 ^{**}	-0.771 [*]	0.035	0.496	0.850 ^{**}	-0.289	1	0.074	—	—	—	—	—	0.166	0.282
重相関								0.995 [*]	0.995 [*]	0.992 ^{**}	0.953 ^{**}	0.950 ^{**}	0.946 ^{**}	0.955 [*]	0.954 ^{**}
$\hat{\sigma}$								4.096	3.354	3.481	7.548	7.133	7.395	8.321	7.495
$\hat{\rho}^2$								0.957	0.971	0.969	0.855	0.870	0.860	0.823	0.857

表-4 碎石 F_{28}

	単 相 関							偏 相 関							
	y	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅	x ₆	y	y	y	y	y	y	y	y
y	1							—	—	—	—	—	—	—	—
x ₁	-0.714 [*]	1						-0.928	0.753	0.646	0.647	-0.739 [△]	-0.776 [△]	0.079	0.177
x ₂	-0.169	0.492	1					0.918	-0.858 [△]	-0.734 [△]	-0.769 [△]	—	—	-0.044	—
x ₃	0.277	-0.014	0.858 ^{**}	1				-0.928	0.807	0.775 [△]	0.785	0.382	—	0.018	-0.409
x ₄	0.016	-0.134	-0.833 ^{**}	-0.841 ^{**}	1			0.858 [*]	-0.643	-0.287	—	—	—	—	—
x ₅	-0.031	-0.356	-0.965 ^{**}	-0.911 ^{**}	0.772 [*]	1		-0.965 [△]	-0.664	—	—	—	-0.436	—	—
x ₆	0.919 ^{**}	-0.756 [*]	-0.037	0.448	-0.166	-0.123	1	0.961 [△]	—	—	—	—	—	0.498	0.832 ^{**}
重相関								0.997 [*]	0.955 [△]	0.918 [△]	0.910 [*]	0.762 [△]	0.776 [△]	0.933 [*]	0.933 [*]
$\hat{\sigma}$								2.395	7.147	8.278	7.730	11.041	10.750	7.494	6.710
$\hat{\rho}^2$								0.974	0.766	0.686	0.736	0.441	0.470	0.742	0.794

有意水準; * 1% , ** 5% , △ 10%

表-3～表-4に示すような重相関、偏相関関係や、バラツキ($\hat{\sigma}$; 不偏分散の平方根)、奇子率($\hat{\rho}^2$)を得ている。これらの数値から次のようなことが推察される。

a) F_{28} については、表-3の場合には%、W、C、G、eの5要因を送る時の奇子率が最も大きく、同程度の奇子率で要因を少なくするには、eを略きうると考えられる。実用上、要因としては、%、W、Cの3要因か、或は%、Cの2要因を送るはよさそうである。また F_7 が解っても F_{28} の推定精度が増すことは期待はできないようである。碎石の場合には、砂利の場合と似た傾向がある。要因として%、W、C、G、eを送るときは、バラツキは最少で、奇子率は97.1%で最大値を示す。次は%、W、Cの3要因を送るときが奇子率は大きい。 F_7 が既知となった時までは%、W、Cを送るときには、要因に F_7 を加える利はあまりないが、%とCの時には F_7 を加えると F_{28} の推定精度が増す。そして F_7 が解

るとき、 $\%$ と F_7 から F_{28} を推定しても、 $\%$ 、 W 、 C 、 F_7 の4要因を送った場合よりも精度よく推定しうることが解る。

F_7 については解析結果の表は掲げていないが、砂利の場合には、 $\%$ 、 W 、 C を要因に送るときは、 F_7 の推定に当って、 $\hat{\sigma} = 7.67 (\%/cm^2)$ で、全体のバラツキのうち80.6%を抑えうることがわかる。要因としては C 、 q は考えなくてよいことも解かる。碎石の場合には、砂利の場合よりも推定精度はよく、要因としては $\%$ 、 W 、 C 、 q を送る時の寄与率は98.8%と大きい。しかしこれから q を略いた3要因の場合でも全体のバラツキの98.6%を抑えうる。したがって砂利、碎石の場合とも、要因としては $\%$ 、 W 、 C を送るはよく、要因も2つだけ送るときには $\%$ と C を採るのがよいことがわかる。

この外、要因の送状に偏相関係数の有意となったものを考慮して要因に送む、重回帰式を推定するに次の例のようになる。

$$\begin{aligned} \text{砂利の場合} \quad F_7 &= 157 \% - 2.1 W + 0.89 C - 27 \\ F_{28} &= -130 \% - 2.3 W + 1.1 C - 0.9 q + 1571 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{碎石の場合} \quad F_7 &= 487 \% - 3.8 W + 1.5 C - 156 \\ F_{28} &= 621 \% - 4.5 W + 1.7 C - 181 \end{aligned}$$

(6) Eyman⁴⁾はNFCの配合方法として、骨材の強度がセメントアラウトよりも大きい場合には、全面的にFeretの式が適合するといっている。そしてEymanの研究によって、一般にコンクリートの強度は次式によってきまるとしている。

$$f'_c = E \left(\frac{C}{P_k} \right)^2$$

$$P_k = W - \alpha C + \phi$$

ただし、 f'_c : コンクリート強度(kg/cm^2)、 E : セメントと骨材の質によってきまる定数、 C : セメント量(kg/m^3)、 P_k : 硬化したコンクリートの空隙量(g/m^3)、 W : 水量(kg/m^3)、 ϕ : まだ固まらないコンクリートの空隙量(g/m^3)、 α : セメントと化学的に結合した水の重量によってきまる係数、 αC は結合水量を表わしている。材令28日のホルトランドセメントでは $\alpha \approx 0.14$ 。そこで、今回の実験結果に対して、 E の値をおめて、上記の式に適用した場合の実験値のバラツキ(不偏分散の平均値)をおめると次の通りである。

	E	$\hat{\sigma}$
砂利の場合	138.8	62.0
碎石の場合	206.2	29.4

すなわち、バラツキが著しく大きく適合性がよいとは云えない。このことは重回帰分析結果からみて C は要因に加ええない方が推定精度がよいことと一致していると考えられる。

4 お 結 び

この実験からNFCの配合設計に当っては、一般に $\%$ 、 W 、 C を要因に送むと強度の推定に効果的である。また空隙率と強度の関係が不明確のためにFeretの式の適合性はよくないことが解った。

1) A. Short and W. Kinniburgh: *Lightweight Concrete*; London 1963 (C.R. Books Limited)

2) 池田、片岡、杉本、皆上: 透水コンクリートの実験(1); 第18回土木学会年次大会 IV-135 5.38.5

3) 野田、島坂; 築堤の法瓦土留工として使用したポーラスコンクリート; 第21回土木学会年次大会 IV-159 5.41.5

4) K. H. Eyman: *Method of Proportioning Normal and No-Fines Concrete Mixtures*; J. A.C.I. Vol. 60 pp. 927-943, July 1963.