

1. まえがき

現行のコンクリートの配合設計法は、1918年にD. A. Abramsによって発表された水セメント比説、さらに1932年 I. Lyseによって発表されたセメント水比説を継承し、コンクリートの強度のみを、水セメント比(W/C)と関係づける方法が定着している。しかし、今までに多数の試験練りデータが蓄積されているにもかかわらず、今なお全国各地の試験研究機関等で、膨大な量のコンクリートの強度試験等が行われていることを考慮すると、毎回毎回試験練りを行ってみなければ、コンクリートの品質が推定できない現行の方法は、きわめて非合理的であると言えよう。

以上のことから、本文は道路公団内における試験結果を総合的にデータ解析し、試験練りを行わなくても使用材料および配合条件から、コンクリートの配合、強度および耐久性を推定することにより配合設計を行う方法を提案するものである。(図-1参照)

2. 解析方法の概要

解析方法は、試験結果を1配合ごとにデータ整理し、材料試験結果および配合条件を独立変数 $X_1, X_2, X_3, \dots$ 、推定する強度等を従属変数Yとした関係式 $Y = a + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + \dots$ を、多変量解析(重・偏相関分析)によって求めた。また、解析データは、使用材料として普通ポルトランドセメント、水道水、AE減水剤および粗骨材最大寸法20・25mmを採用した場合に限定し、細・粗骨材の物理的性質(粒度、粒形、強さ、材質を表す項目を選定)を独立変数とした。(表-1参照)

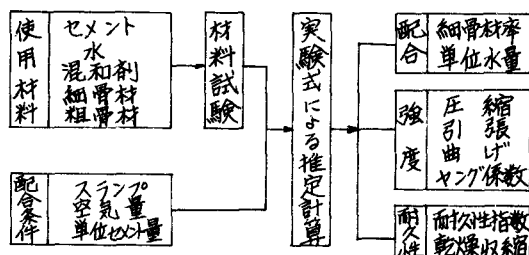


図-1 実験式による配合設計法

3. 解析結果および考察

解析結果は、表-1 および実験式I-1〜III-8に示すとおりであり、要約すると以下のようになる。

(1) 独立変数として採用した9〜11項目を使用材料・配合条件として与えれば、実験式I-1〜III-8のいずれかによって、コンクリートの配合・強度・耐久性を推定計算することができ、精度が良い実験式としては、Yの標準偏差が小さいI-1, II-2, III-3, III-4, III-5, III-6, II-7およびIII-8を提案する。これらの実験式の精度は信頼限界(両側)を80%とすれば、実験式に対する計算誤差が $\%a = \pm 5\%$, $W = \pm 4\%$, $C_{28} = \pm 13\%$, $T_{28} = \pm 11\%$, $B_{28} = \pm 12\%$, $E_{28} = \pm 12\%$, $DF_{300} = \pm 61\%$, $DS_{52} = \pm 15\%$ である。(記号は、表-1参照)

(2) 表-1 からCの影響が強いのは、 C_{28} , T_{28} , B_{28} , E_{28} の順であること、Wの影響が強い(すなわち、Wと相関が強い)粒度・粒形要因の $G_s \cdot S_o$ および S_L の影響が強い)のは、 DS_{52} , C_{28} , DF_{300} の順であること、 T_{28} および B_{28} に対するWの影響はほとんど認められないことおよびWに対しては、ほとんど影響を与えないことがわかる。したがって、配合設計の際に各強度 C_{28} , T_{28} , B_{28} に対してせみくもに $\%W$ との関係式にあてはめてその関係を求める必要はなく、使用材料、スランプ、空気量が同一であれば、単にCとの関係を求める方がむしろ合理的であると考えられる。

(3) 骨材の材質のおよぼす影響が強いのは、 DF_{300} , E_{28} , B_{28} である。これらのうち、 DF_{300} は特に G_g の影響が顕著であり、 E_{28} は G_g , C, S_g の順に影響を受け、セメントの質が C_{28} , T_{28} , B_{28} と比較すると約半である。したがって、これらの諸性質を向上させるためには、セメント量を増加するよりは、良質な骨材を選定することが必要である。

4. あとがき

以上のことから、多変量解析結果による実験式を用いた配合設計する方法は、十分実用可能であり、コンクリート構造物の使用目的、環境条件等を考慮して、総合的に材料・配合条件を決定しうるものと考えられる。

表-1 解析データおよび解析結果

区分	項目	記号	単位	項目	記号	単位	独立変数(X ₁ , X ₂ , X ₃ , ...) 注1)										従属変数(Y)データ				回帰式の検定 注2)				Yとの相関係数												
							材料条件										配合条件				Y/Y'																
							細骨材					粗骨材					まだ固まらないコンクリート配合				個																
							粗粒率	表試験用スラン	単位容積重量	吸水率	実容率	吸水率	スラン	空気量	温度	単位容積量	個	平均値	最大値	最小値	平均値	標準偏差	最大値	最小値		個											
							S _{FM}	St	S _D	%	%	%	G _S	G _g	SL	A	C _T	C	—	—	—	—	—	—		—											
従属変数 (Y)	細骨材	S _a	%	I-1	59	—	—	16	18	(75)	19	32	2	(17)	(69)	387	41.6	50.0	29.9	1.002	0.042	1.138	0.900	0.833													
				II-1	—	16	—	24	11	(65)	15	26	(9)	(23)	(65)	386	41.6	50.0	29.9	1.003	0.051	1.185	0.848	0.825													
				III-1	—	—	11	52	42	(58)	7	34	8	(34)	(71)	223	41.7	50.0	29.9	1.003	0.051	1.187	0.869	0.865													
		W	kg/m ³	I-2	27	—	—	(40)	(16)	(59)	(12)	11	(4)	19	0	387	162	198	134	1.002	0.046	1.175	0.846	0.720													
				II-2	—	56	—	(57)	(33)	(66)	(3)	19	(18)	27	(3)	386	162	198	134	1.002	0.041	1.152	0.834	0.794													
				III-2	—	—	67	(52)	(14)	(63)	19	33	13	22	5	223	161	190	141	1.001	0.033	1.108	0.915	0.891													
	圧縮強度	C ₂₈	kg/cm ²	I-3	(12)	—	—	32	(10)	6	(19)	(18)	0	(23)	89	385	354	547	85	1.015	0.127	2.164	0.778	0.908													
				II-3	—	(19)	—	35	(5)	6	(22)	(20)	4	(24)	90	384	354	547	85	1.015	0.127	2.219	0.762	0.910													
				III-3	—	—	(37)	42	(7)	0	(18)	(20)	(9)	(9)	90	223	368	547	152	1.011	0.099	1.543	0.810	0.921													
		T ₂₈	kg/cm ²	I-4	17	—	—	25	(6)	(18)	(30)	13	(21)	(4)	85	283	297	43.8	15.5	1.009	0.092	1.459	0.802	0.882													
				II-4	—	(6)	—	31	(4)	(15)	(32)	10	(22)	(12)	85	282	297	43.8	15.5	1.009	0.094	1.473	0.797	0.878													
				III-4	—	—	(7)	32	(10)	(12)	(31)	(4)	(16)	(13)	82	207	297	41.6	15.8	1.007	0.085	1.482	0.812	0.869													
	曲げ強度	B ₂₈	kg/cm ²	I-5	7	—	—	2	(35)	(8)	(39)	(7)	(5)	8	79	279	47.5	67.7	24.6	1.009	0.094	1.410	0.799	0.846													
				II-5	—	(8)	—	7	(34)	(7)	(41)	(9)	(15)	5	79	278	47.5	67.7	24.6	1.009	0.094	1.406	0.797	0.847													
				III-5	—	—	0	1	(32)	(5)	(39)	(18)	(7)	2	72	207	48.2	67.7	31.2	1.008	0.091	1.406	0.790	0.799													
		E ₂₈	×10 ⁵ kg/cm ²	I-6	(4)	—	—	8	(28)	8	(56)	27	(16)	(3)	41	217	2.82	4.25	1.71	1.009	0.098	1.364	0.730	0.740													
				II-6	—	(8)	—	10	(25)	7	(56)	25	(15)	(4)	42	216	2.82	4.25	1.71	1.009	0.098	1.365	0.731	0.737													
				III-6	—	—	(3)	10	(29)	14	(55)	10	(21)	18	33	156	2.86	4.25	2.02	1.009	0.093	1.303	0.732	0.734													
	耐久係数	DF ₃₀₀	%	I-7	(3)	—	—	(2)	(10)	(7)	(70)	(34)	8	(25)	(9)	120	73	99	13	1.115	0.482	3.489	-0.212	0.794													
				II-7	—	(11)	—	2	(11)	(6)	(72)	(34)	9	(27)	(9)	119	73	99	13	1.111	0.480	3.389	-0.295	0.806													
				III-7	—	—	(23)	6	(4)	(16)	(67)	(19)	(8)	(19)	(6)	95	79	99	14	1.104	0.500	3.758	0.015	0.723													
		DS ₅₂	×10 ⁻⁵	I-8	19	—	—	(15)	(12)	(72)	1	11	6	19	(5)	76	94.6	147.5	57.7	1.018	0.140	1.401	0.655	0.815													
				II-8	—	42	—	(25)	(14)	(73)	6	19	5	16	(7)	75	94.6	147.5	57.7	1.016	0.132	1.386	0.664	0.844													
				III-8	—	—	57	(20)	3	(67)	14	22	16	12	(12)	76	94.6	147.5	57.7	1.013	0.116	1.367	0.682	0.875													
I-II 解析データ	個数	個	—	435	433	229	407	435	428	435	435	435	412	435	注1) 偏相関係数を%で表わした数値 () 書きは、負の相関																						
			—	2.77	2.5	34.4	1602	2.7	60.3	1.9	11.0	4.8	19.4	32.0	454																						
			—	3.75	20.0	39.5	1901	5.5	71.0	7.8	14.0	6.8	32.0	454																							
			—	2.26	0.6	31.8	1424	1.0	54.5	0.3	3.6	2.8	9.0	200																							
III 解析データ	個数	個	—	223	223	223	223	223	223	223	223	223	223	223																							
			—	2.84	2.7	34.4	1609	2.6	60.3	1.7	10.7	4.9	18.5	322																							
			—	3.75	8.1	39.5	1901	5.5	68.5	7.8	13.3	5.9	21.4	400																							
			—	2.26	0.8	31.8	1424	1.5	54.5	0.3	8.0	3.5	9.0	239																							

実験式 I-1) $S/a = 63.79 + 6.156 S_{FM} + 0.004084 S_W + 0.350 S_g - 0.6715 G_S + 0.295 G_g + 0.4795 S_L + 0.084 A - 0.0908 C_T - 0.03332 C$
 II-1) $S/a = 75.14 + 0.2965 S_t + 0.008062 S_W + 0.280 S_g - 0.6125 G_S + 0.280 G_g + 0.4654 S_L + 0.386 A - 0.1501 C_T - 0.03650 C$
 III-1) $S/a = 46.78 + 0.1595 S_t + 0.017575 S_W + 1.283 S_g - 0.5409 G_S + 0.128 G_g + 0.8902 S_L + 0.447 A - 0.3945 C_T - 0.04379 C$
 I-2) $W = 314.0 + 9.99 S_{FM} - 0.04684 S_W - 1.36 S_g - 1.883 G_S - 0.75 G_g + 0.650 S_L - 0.66 A + 0.435 C_T - 0.0004 C$
 II-2) $W = 377.9 + 3.667 S_t - 0.07012 S_W - 2.62 S_g - 1.894 G_S - 1.77 G_g + 0.991 S_L - 2.43 A + 0.540 C_T - 0.0038 C$
 III-2) $W = 169.2 + 3.372 S_D - 0.04471 S_W - 1.02 S_g - 1.615 G_S + 0.92 G_g + 2.205 S_L + 1.88 A + 0.638 C_T + 0.0057 C$
 I-3) $C_{28} = -238.7 - 20.24 S_{FM} + 0.17452 S_W - 3.97 S_g + 0.785 G_S - 5.98 G_g - 5.430 S_L - 0.36 A - 2.487 C_T + 1.4309 C$
 II-3) $C_{28} = -347.4 - 5.888 S_t + 0.20779 S_W - 2.21 S_g + 0.770 G_S - 6.93 G_g - 6.042 S_L + 2.94 A - 2.617 C_T + 1.4408 C$
 III-3) $C_{28} = 79.2 - 8.773 S_D + 0.20209 S_W - 2.98 S_g + 0.048 G_S - 5.12 G_g - 7.578 S_L - 7.51 A - 1.483 C_T + 1.3164 C$
 I-4) $T_{28} = -4.99 + 2.170 S_{FM} + 0.010190 S_W - 0.189 S_g - 0.1589 G_S - 0.672 G_g + 0.2944 S_L - 1.386 A - 0.0621 C_T + 0.08650 C$
 II-4) $T_{28} = -1.86 - 0.1501 S_t - 0.013507 S_W - 0.117 S_g - 0.1342 G_S - 0.751 G_g + 0.2290 S_L - 1.490 A - 0.1601 C_T + 0.08538 C$
 III-4) $T_{28} = 7.38 - 0.1153 S_D + 0.012403 S_W - 0.323 S_g - 0.1058 G_S - 0.649 G_g - 0.1118 S_L - 1.076 A - 0.1590 C_T + 0.07391 C$
 I-5) $B_{28} = 27.89 + 1.407 S_{FM} + 0.000994 S_W - 1.877 S_g - 0.1122 G_S - 1.488 G_g - 0.2832 S_L - 1.592 A + 0.1810 C_T + 0.11255 C$
 II-5) $B_{28} = 27.93 - 0.3028 S_t + 0.004832 S_W - 1.795 S_g - 0.0974 G_S - 1.572 G_g - 0.3458 S_L - 1.622 A + 0.1055 C_T + 0.11186 C$
 III-5) $B_{28} = 41.42 - 0.0080 S_D + 0.000874 S_W - 2.014 S_g - 0.0781 G_S - 1.554 G_g - 0.9254 S_L - 0.886 A + 0.0487 C_T + 0.09695 C$
 I-6) $E_{28} = 1.357 - 0.0555 S_{FM} + 0.003838 S_W - 0.1029 S_g + 0.0744 G_S - 0.1558 G_g + 0.08066 S_L - 0.1017 A - 0.00383 C_T + 0.02680 C$
 II-6) $E_{28} = 1.075 - 0.0903 S_t + 0.005084 S_W - 0.0962 S_g + 0.0682 G_S - 0.1563 G_g + 0.07483 S_L - 0.0900 A - 0.00418 C_T + 0.022713 C$
 III-6) $E_{28} = 1.247 - 0.00630 S_D + 0.0004200 S_W - 0.1147 S_g + 0.01380 G_S - 0.1435 G_g + 0.04764 S_L - 0.1635 A + 0.02488 C_T + 0.002180 C$
 I-7) $DF_{300} = 251.1 - 2.45 S_{FM} - 0.00532 S_W - 1.74 S_g - 0.380 G_S - 13.96 G_g - 5.147 S_L + 3.44 A - 2.708 C_T - 0.0638 C$
 II-7) $DF_{300} = 227.3 - 2.272 S_t + 0.00351 S_W - 2.02 S_g - 0.323 G_S - 14.45 G_g - 5.037 S_L + 3.65 A - 2.709 C_T - 0.0579 C$
 III-7) $DF_{300} = 338.3 - 1.584 S_D + 0.01147 S_W - 0.87 S_g - 1.055 G_S - 13.52 G_g - 3.545 S_L - 3.86 A - 1.754 C_T - 0.0396 C$
 I-8) $DS_{52} = 337.1 + 12.60 S_{FM} - 0.03001 S_W - 2.03 S_g - 5.385 G_S + 0.16 G_g + 2.861 S_L + 2.57 A + 1.692 C_T - 0.0261 C$
 II-8) $DS_{52} = 415.0 + 3.832 S_t - 0.04722 S_W - 2.24 S_g - 5.217 G_S + 0.65 G_g + 4.574 S_L + 2.04 A + 1.259 C_T - 0.0337 C$
 III-8) $DS_{52} = 136.1 + 5.406 S_D - 0.03033 S_W + 0.44 S_g - 4.232 G_S + 1.37 G_g + 4.747 S_L + 5.75 A + 0.878 C_T - 0.0482 C$

参考文献 1) 飯岡・豊福: コンクリートの強度および耐久性におよぼす骨材粒の特質, セメント技術年報 31
 2) 飯岡・豊福・細田: コンクリートの強度におよぼす骨材および配合の影響, 土木学会第32回年次学術講演会 講演概要集
 3) 飯岡・豊福: コンクリートの打設・養生等の調査(第1報), 試験所報告・昭和51年度, 日本道路公団試験所