

論文 高強度コンクリートの弾性係数に及ぼす配合要因の統計的分析

李 昇勲*1・金 圭庸*2・金 奎東*1・張 一永*3

要旨：コンクリートのヤング係数は各構成材料の弾性特性，混和材料の混入率，養生条件，骨材とセメントペーストとの付着載荷速度，試験方法，など数多く要因で影響を受けるため実験データによる回帰式で示されている。また，各国の多岐にわたるコンクリート条件により今まで提示された各規準式，実験式は多少異なる。本論文は韓国のコンクリート材料を使って同国の試験規準に準じて評価した高強度コンクリートのヤング係数に対する配合要因の影響を相関分析，主成分分析の統計的に分析し，同一圧縮強度でもっと高いヤング係数を得るため配合設計上で考慮すべき配合要因を検討したものである。

キーワード： ヤング係数，高強度コンクリート，配合要因，統計分析

1. はじめに

コンクリート構造物の設計，解析などにおいて最も重要な材料的変数はヤング係数である。このヤング係数は実用的に単位容積重量と圧縮強度との関数で求められる。しかし，実際のコンクリートのヤング係数は多くの要因に影響されるため、現状での各国のヤング係数推定式は各々の国の実験データを回帰したものであることが多い。一例として図 - 1 に日本とアメリカの推定式を示すが，両国の回帰式には明らかな違いがあり，圧縮強度とヤング係数の関係を明確に究明することは難しいことが分かる。

本論文では，韓国のコンクリート構成材料を使い，同国の規準に準じて高強度コンクリートのヤング係数を評価し，配合要因との関係を相関分析，主成分分析の統計分析を通じて，その影響を検討したものであり，両国の研究者に有益な情報を提供することに目的がある。

2. 実験内容及び方法

2.1 実験要因 及び使用材料

本研究では，韓国の高強度コンクリートのヤング係数に及ぼす配合要因として表 - 1 のように水結合材比，単位水量，粗骨材量，粗骨材の

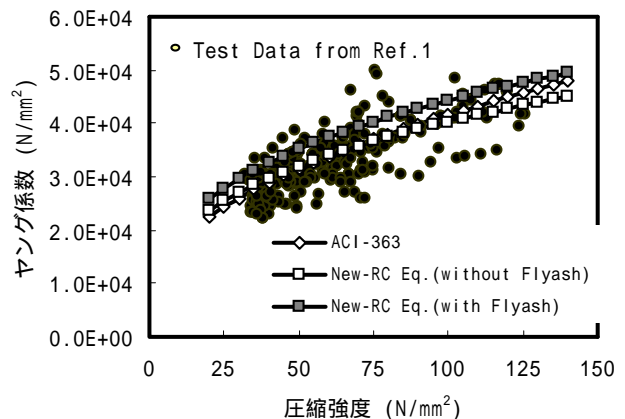


図-1 各規準式による圧縮強度とヤング係数との関係

表 - 1 実験要因及び水準

要因		水準
水結合材比 (%)	[W/(G+Fa)]	24, 26, 30, 34, 38
単位水量 (kg/m³)	[W]	161, 171, 181
粗骨材量 (m³/m³)	[Vg]	0.31, 0.34, 0.37
粗骨材の最大寸法(mm)	[Dg]	13, 19, 25
養生材齢 (日)		3, 7, 14, 28, 56, 91, 180

最大寸法に対し養生材齢 28,56 日にその影響を統計分析した。使用されたコンクリートの材料は表 - 2 のようになる。

2.2 配合及び実験方法

*1 大韓民国 三星物産(株) 建設部門 技術研究所 (正会員)

*2 独立行政法人 建築研究所 材料研究グループ (正会員)

*3 大韓民国 Kumoh 工科大学校 土木工学科 (正会員)

表 - 2 使用材料の性質

	セメント	Fa	細骨材	粗骨材
Type	1種	-	川砂	碎石
比表面積 (cm ² /g)	3.315	4,300	-	-
密度(骨材;表乾)	3.15	2.1	2.62	2.64
F M	-	-	2.74	6.82
圧縮強度(N/mm ²)	40	-	-	117.2
弾性係数(N/mm ²)	-	-	-	64984.8

コンクリートの配合は表 - 3 , 4 のようになる。表 - 3 示したシリーズは, 単位水量を一定とし, 水結合材比と粗骨材量の影響を検討したものである。また, 表 - 4 に示したシリーズは, 粗骨材を一定とし, 水結合材比と単位水量の影響を検討したものである。

コンクリートの試験体は 10×20cm として, 圧縮強度とヤング係数の測定は KS F 2405, KS F 2438 に準じて行われた。養生は 20 水中標準

表 - 3 コンクリートの配合

W(G+Fa) -Vg-Dg	S/a	単位量(kg/m ³)					
		W	C	Fa	S	G	SP
024 -0.31 - 13,19,25	46.5	171	642	71	685	794	193
0.24 - 0.37 - 13,19,25	36.2	171	642	71	533	947	17.1
0.26 - 0.31 - 13,19,25	48.2	171	592	66	733	794	16.5
0.26 - 0.37 - 13,19,25	38.2	171	592	66	581	947	14.5
0.30 - 0.31 - 13,19,25	50.7	171	513	57	810	793	10.3
0.30 - 0.37 - 13,19,25	41.1	171	513	57	656	948	9.1
0.34 - 0.31 - 13,19,25	52.4	171	453	50	868	793	7.5
0.34 - 0.37 - 13,19,25	43.2	171	453	50	715	948	6.5
0.38 - 0.31 - 13,19,25	53.7	171	405	45	914	794	5.9
0.38 - 0.37 - 13,19,25	44.7	171	405	45	761	948	4.5

表 - 4 コンクリートの配合

W(G+Fa) -W-Dg	s/a	単位量(kg/m ³)					
		W	C	Fa	S	G	SP
0.24 - 161 - 13,19,25	42.8	161	604	67	646	871	18.5
0.24 - 171 - 13,19,25	41.3	171	642	71	608	871	17.8
0.24 - 181 - 13,19,25	38.8	181	679	75	547	871	15.1
0.26 - 161 - 13,19,25	45.3	161	557	62	716	871	15.5
0.26 - 171 - 13,19,25	43.2	171	592	66	598	871	15.1
0.26 - 181 - 13,19,25	40.9	181	626	70	598	871	11.8
0.30 - 161 - 13,19,25	47.7	161	483	54	788	871	10.2
0.30 - 171 - 13,19,25	45.9	171	513	57	733	871	9.7
0.30 - 181 - 13,19,25	44.0	181	543	60	679	871	8.4
0.34 - 161 - 13,19,25	49.4	161	427	47	843	871	6.6
0.34 - 171 - 13,19,25	47.8	171	453	50	791	871	6.5
0.34 - 181 - 13,19,25	46.1	181	479	53	740	871	6.4
0.38 - 161 - 13,19,25	50.6	161	382	42	886	871	5.5
0.38 - 171 - 13,19,25	45.9	171	405	45	837	871	6.3
0.38 - 181 - 13,19,25	47.7	181	428	48	788	871	4.3

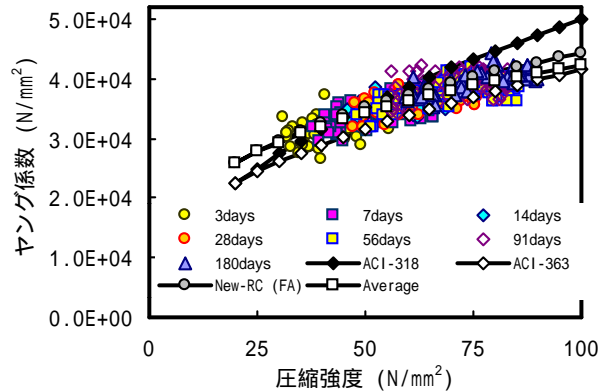


図 - 2 高強度コンクリートの弾性係数測定値と各規準式との比較

養生で行われ、各材齢は 3 , 7 , 14 , 28 , 56 , 91 , 180 日である。

3. 実験結果

3.1 各規準式によるヤング係数の比較

図 - 2 はヤング係数の測定結果を ACI 及び New-RC 規準式による比較したものである。韓国の材料を使ったコンクリートのヤング係数の測定値と各規準値を比べると ACI-363 式により約 10% ほど高い水準であり, フライアッシュを混入したコンクリートの場合 New-RC 式により 2 ~ 4 % 程度低いものである。

3.2 相関分析^{1),2)}

(1) 材齢別各種要因の検討

本研究での相関分析は Pearson 方法を利用したものである。表 - 5 , 6 は材齢 28 , 56 日で測定した実験結果に対する相関分析である。ヤング係数(E_c)と各変数との相関関係を SAS Program を利用し検証すると単位水量 (W), 単位結合材比 ($W/(C+Fa)$), フライアッシュ(Fa), 細骨材量 (S) の配合変数と単位位重量 (c), 圧縮強度 (f_{ck}) になることが分かる。ここで, c と f_{ck} は既存の研究の通り最も高い相関関係

表 - 5 全体データの統計分析結果

Age	Variable	N	Mean	Std.D.	Min.	Max.
			Nmm ²			
28	f_{ck}	150	64.2	9.1	47.0	78.1
	E_c	150	36974.3	2109.9	30974.3	41634.3
56	f_{ck}	134	70.1	10.6	53.7	85.6
	E_c	134	38397.8	1937.5	33170.8	42593.4

表 6 データの相関分析

Age	28 days			56days		
	c	f_{ck}	E_c	c	f_{ck}	E_c
W	-0.13	-0.06	-0.18	-0.11	-0.04	-0.19
W/(C+Fa)	0.11	0.48	0.03	0.19	0.61	0.03
C	-0.41	-0.91	-0.38	-0.33	-0.90	-0.39
Fa	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
s/a	0.38	0.88	0.34	0.31	0.89	0.35
S	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
G	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Dg	0.32	0.01	-0.18	0.29	-0.03	-0.17
Vg	0.00	0.93	0.06	0.00	0.59	1.00
c	0.28	-0.05	0.15	0.33	-0.05	0.00
f_{ck}	0.00	0.53	0.06	0.00	0.99	0.11
E_c	0.34	0.06	0.15	0.31	0.00	-0.14
1	1	0.54	0.56	1	0.45	0.41
0	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00
1	0	1	0.54	1	0.46	0.41
0	0	0	0.00	0	0.00	0.00

*Note : 相関係数
 : 有意度
 FA=フライアッシュ
 c=コンクリートの単位容積重量

である。しかし、W との相関係数が - 0.18 で比較的に低いことになるが、相関係数より大きくなる有意度が 0.03 であり、SAS Program の検定基本有意度 0.05 より小さくなりある程度の負の相関性があると考えられる。

また、相関関係がある変数の中で W/(C+Fa) , C , Fa , S は E_c より f_{ck} と大きい相関性があり E_c の独立変数とは言えにくい、W は E_c に対し他の変数より負の相関関係であると考えられる。単位水量の増加はヤング係数の減少に影響があることを意味する。ここで図 - 3

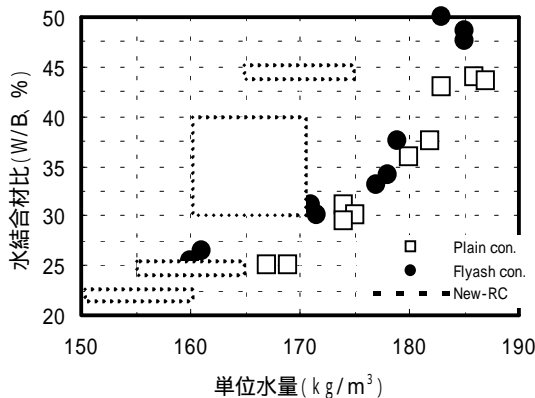


図-3 水結合材比による各国(韓国、日本)の単位水量水準

のように New-RC 研究から提示された単位水量の標準的な範囲に比べ、同じ水結合材比である韓国の場合単位水量が多く、図 - 1 , 2 のように New-RC ヤング係数推定値より韓国の実験値が低くなるのが分かるが、本研究の範囲ではその理由に対して明確ではない。

(2) 単位水量による分析

単位水量の影響を分析するため粗骨材量 ($V_g=0.34$) を一定に決めて、単位水量(W)を 161 , 171 , 181kg/m³ に設定し、各材齢別配合要因と

表 7 $V_g = 0.34$ における各データの相関分析

Age	28 days			56days		
	c	f_{ck}	E_c	c	f_{ck}	E_c
W	-0.18	-0.05	-0.26	-0.18	-0.09	-0.28
W/(C+Fa)	0.11	0.67	0.02	0.15	0.43	0.02
C	-0.54	-0.92	-0.54	-0.47	-0.79	-0.56
Fa	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
S/a	0.49	0.88	0.45	0.42	0.76	0.45
S	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Dg	0.49	0.88	0.45	0.42	0.76	0.45
Vg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
c	-0.42	-0.80	-0.37	-0.35	-0.69	-0.36
f_{ck}	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
E_c	-0.42	-0.80	-0.37	-0.35	-0.69	-0.36
1	0.26	-0.03	0.09	0.20	-0.05	0.00
0	0.02	0.77	0.42	0.09	0.70	0.47
1	1	0.70	0.72	1	0.61	0.61
0	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00
1	0	1	0.70	1	0.60	0.60
0	0	0	0.00	0	0.00	0.00

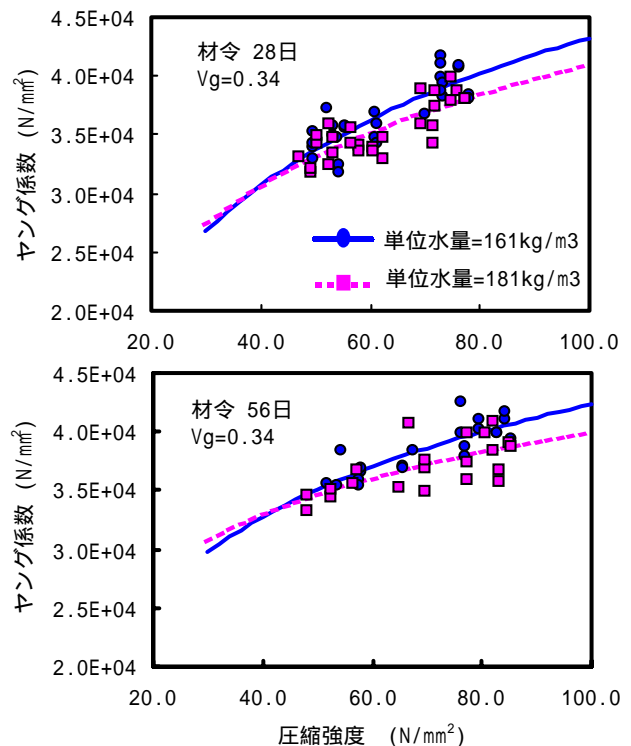


図-4 単位水量の影響

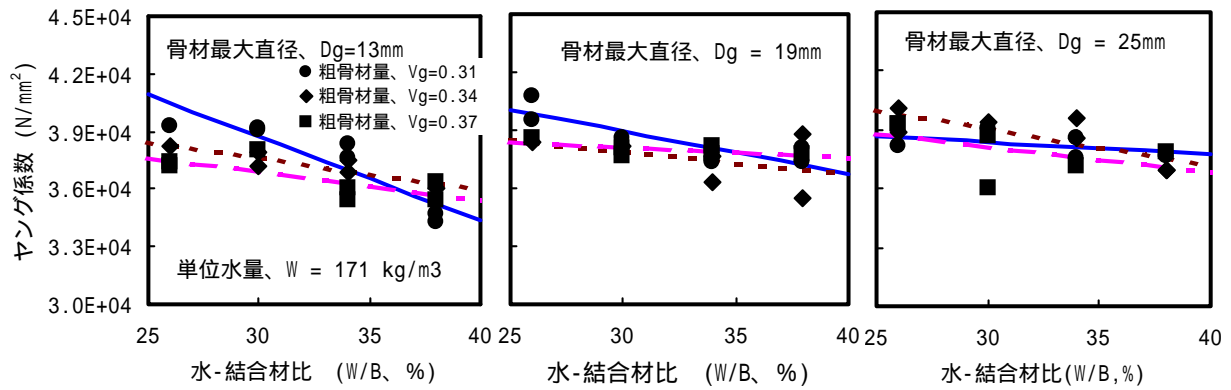


図-5 粗骨材量の影響 (材令28日)

の相関分析を行った。その結果表 - 7 のように配合変数 W の有意度が 0.02(98%) になり E_c を従属変数とした変数になることが認められる。また、図 - 4 のように単位水量の増加によりヤング係数 (E_c) が減少になる現状が明確になった。

(3) 粗骨材に対し分析

ヤング係数に及ぼす粗骨材の影響を分析するため一定な単位水量 ($W=171\text{kg/m}^3$) で粗骨材容積率 (V_g) を 0.31, 0.34, 0.37 に変化させ、その相関分析を行った。表 - 8 のように材齢 28 日で、 G , D_g , V_g の有意度が各 0.04, 0.01, 0.04 になり E_c との相関性が認められ、その関係を図 - 5 に表れる。粗骨材最大寸法によるヤング係数の影響は明確ではないが、13mm の場合、19, 25mm よりヤング係数が 5% 程度低くなった。一方、普通コンクリートの性状とは異なって粗骨材量の増加によるヤング係数が減少して、最大 5% 程度の差が見られる。これは粗骨材の最大寸法 19, 25mm より 13mm の場合に明確な現象であり、粗骨材の最大寸法が 19mm 以下になるほど粗骨材量が少ない場合、ヤング係数向上の傾向が見られるが、材齢 56 日では粗骨材とヤング係数との相関関係が明確ではなかった。

(4) 同一圧縮強度における相関分析

表 - 9 は各材齢で測定した同一な圧縮強度 500, 600, 700, 800 kg/cm^2 に対し相関分析を行った結果を示したものである。なお、各目標圧縮強度の標準偏差は ACI-363 の 3.4~4.4 N/mm^2 と JASS 5 の 3.4 N/mm^2 の範囲の内であり、ほ

表 8 $W = 171\text{kg/m}^3$ における各データ相関分析

Age	28days			56days		
	c	f_{ck}	E_c	c	f_{ck}	E_c
Variable						
W(C+Fa)	-0.20	-0.95	-0.27	-0.13	-0.91	-0.21
	0.09	0.00	0.03	0.25	0.00	0.01
C	0.17	0.92	0.21	0.11	0.88	0.24
	0.17	0.00	0.08	0.36	0.00	0.05
Fa	0.17	0.92	0.22	0.11	0.88	0.25
	0.17	0.00	0.06	0.38	0.00	0.04
S	-0.46	-0.77	-0.02	-0.39	-0.69	-0.09
	0.00	0.00	0.83	0.00	0.00	0.47
G	0.56	0.08	-0.24	0.50	-0.01	-0.16
	0.00	0.47	0.04	0.00	0.91	0.16
Dg	0.47	-0.01	-0.31	-0.55	-0.02	0.15
	0.00	0.93	0.01	0.00	0.85	0.21
Vg	0.56	0.09	-0.24	0.50	-0.01	-0.17
	0.00	0.45	0.04	0.00	0.93	0.16
c	1	0.23	0.07	1	0.13	0.17
	0	0.05	0.53	0	0.26	0.14
f_{ck}		1	0.27		1	0.30
		0	0.02		0	0.01

ば同一と認められる。

図 - 6 は各圧縮強度別セメント量とヤング係数との関係を示したものである。材齢 28 日の場合セメント量 100 kg/m^3 が増加と共にヤング係数が約 2.7% 程度増加することが分かる。しかし、同じ圧縮強度ではセメント量が水結合材比と圧縮強度に従属されなく、ヤング係数を従属変数とした場合セメント量が減少するほどヤング係数が向上することが確認される。

図 - 7 は各圧縮強度別細骨材量とヤング係数との関係を示したものである。材齢 28 日の場合、全データの回帰線は細骨材量が 100 kg/m^3 増加するとヤング係数が 1.2% 減少することを示している。しかし、強度毎の回帰線は細骨材量が減少するとヤング係数が減少することを示している。材齢 56 日の場合 28 日の傾向と比べると

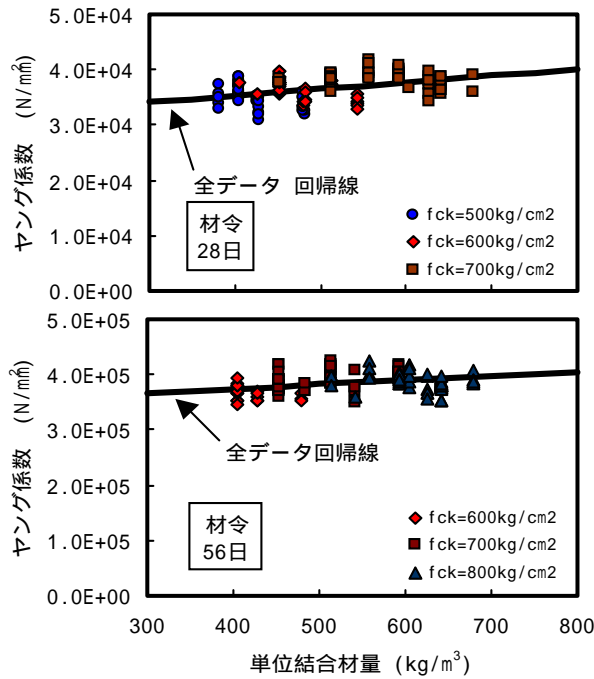


図-6 単位セメント量の影響

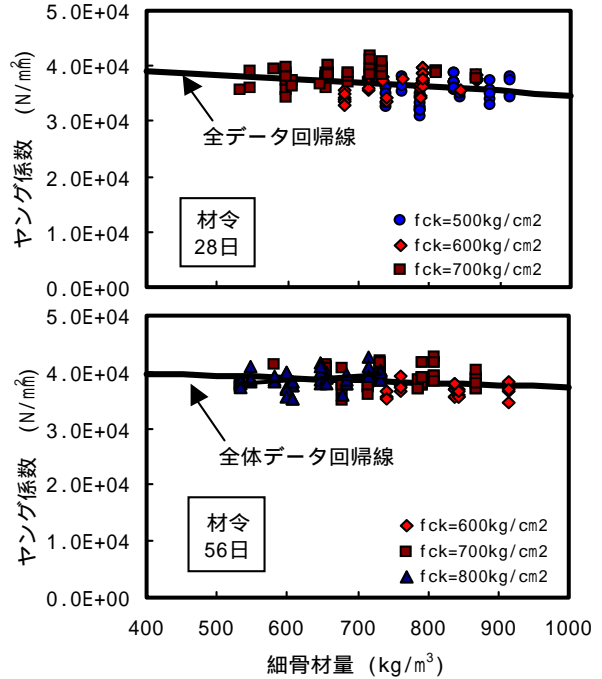


図-7 細骨材量の影響

その性状が一致しなく、ヤング係数に対しセメント量と細骨材量による影響が少ないことが見られる。従って、材齢と圧縮強度が増加するほどヤング係数は配合変数による影響が少なく単位容積重量、圧縮強度の影響が大きくなると考えられる。

3.3 主成分分析^{1),2)}

主成分分析は変動因子に対し共通変量として要約、説明する方法であり、交通変量とした変

数による回帰分析を行って配合変数とヤング係数との関係を把握することが出来る。

(1) 材齢別各種要因の検討

各主成分とコンクリートを構成する材料変数の間の相関関係を説明する因子負荷量(Factor loading)を利用して各材齢 28, 56 日に対し第 1 ~ 3 主成分(PC-1, 2, 3)で要約を行った。その結果は表 - 10 に示した。

表 9 各圧縮強度に対する配合要因との相関分析

Age	28days									56days								
	F500			F600			F700			F600			F700			F800		
Variable	c	f _{ck}	E _c	c	f _{ck}	E _c	c	f _{ck}	E _c	c	f _{ck}	E _c	c	f _{ck}	E _c	c	f _{ck}	E _c
W	-0.26	-0.28	-0.15	-0.29	-0.02	-0.34	-0.24	-0.06	-0.39	-0.09	-0.14	-0.01	-0.11	0.08	-0.01	-0.20	0.09	-0.36
W/(C+Fa)	0.12	0.09	0.38	0.07	0.91	0.03	0.09	0.69	0.00	0.68	0.51	0.95	0.43	0.56	0.96	0.16	0.54	0.01
C	0.48	-0.23	0.40	0.28	-0.23	0.46	0.18	-0.68	0.12	0.42	-0.46	0.33	-0.07	-0.67	-0.29	0.08	-0.65	0.31
s/a	0.00	0.16	0.01	0.08	0.15	0.00	0.21	0.00	0.39	0.04	0.03	0.12	0.61	0.00	0.04	0.59	0.00	0.03
S	-0.53	-0.04	-0.54	-0.38	0.17	-0.54	-0.26	0.59	-0.27	-0.44	0.44	-0.33	0.04	0.66	0.27	-0.15	0.64	-0.48
G	0.00	0.82	0.00	0.02	0.29	0.00	0.06	0.00	0.05	0.03	0.04	0.12	0.80	0.00	0.05	0.29	0.00	0.00
Dg	-0.56	-0.33	-0.02	-0.02	-0.03	0.36	-0.30	-0.31	0.38	-0.82	-0.16	-0.53	-0.19	-0.28	-0.07	-0.06	0.26	0.39
Vg	0.00	0.04	0.92	0.92	0.83	0.02	0.03	0.03	0.01	0.00	0.46	0.01	0.19	0.05	0.63	0.65	0.07	0.00
c	0.06	-0.02	0.12	0.12	-0.08	0.46	-0.13	-0.42	0.40	-0.36	-0.29	-0.22	-0.13	-0.31	-0.01	0.02	-0.38	0.46
f _{ck}	0.71	0.88	0.46	0.46	0.62	0.00	0.35	0.00	0.00	0.10	0.18	0.32	0.35	0.03	0.95	0.91	0.01	0.00
W/(C+Fa)	0.40	0.06	0.28	0.28	-0.04	-0.05	0.58	0.04	-0.21	0.68	0.41	0.39	0.37	-0.07	-0.18	0.25	0.03	-0.17
C	0.01	0.74	0.08	0.08	0.83	0.75	0.00	0.77	0.13	0.00	0.05	0.07	0.01	0.61	0.20	0.07	0.85	0.24
s/a	0.41	-0.01	0.03	0.03	-0.71	0.12	0.52	0.13	-0.19	0.30	0.68	0.50	0.57	-0.14	-0.17	0.01	-0.30	-0.02
S	0.01	0.97	0.87	0.87	0.00	0.46	0.00	0.37	0.18	0.71	0.00	0.02	0.00	0.34	0.22	0.95	0.03	0.90
G	0.40	0.06	0.28	0.28	-0.04	-0.05	0.58	0.04	-0.21	0.68	0.41	0.39	0.33	0.01	-0.18	0.23	-0.05	-0.18
Dg	0.01	0.74	0.08	0.08	0.83	0.76	0.00	0.79	0.13	0.00	0.05	0.07	0.02	0.96	0.19	0.10	0.75	0.22
Vg	1	0.30	1	1	0.05	0.77	1	0.04	0.00	1	0.33	0.67	1	0.24	0.25	1	0.14	0.11
c	0	0.07	0	0	0.77	0.00	0	0.78	0.98	0	0.13	0.00	0	0.09	0.08	0	0.33	0.43
f _{ck}		1			1	0.12		1	0.09		1	0.35		1	0.43		1	-0.24
		0			0	0.45		0	0.54		0	0.10		0	0.00		0	0.09

因子負荷量が0.4以上になるとかなり高い積載量と認められることから第1主成分(PC-1)の場合には $W/(C+Fa)$, C , Fa , S/a , S の配合要因と c , f_{ck} , E_c が共通変量になる。一方, 第3

表 10 因子負荷量による各データ分析

Age	28days			56days		
	要因の種類					
Variable	PC-1	PC-2	PC-3	PC-1	PC-2	PC-3
W	0.031	0.097	-0.664	0.084	0.107	-0.641
W/(C+Fa)	-0.914	0.315	0.058	-0.906	0.357	0.027
C	0.929	-0.286	-0.202	0.921	-0.313	-0.184
Fa	0.930	-0.285	-0.203	0.921	-0.314	-0.185
s/a	-0.867	-0.437	0.130	-0.848	-0.489	0.163
S	-0.959	-0.156	0.223	-0.958	-0.178	0.204
G	0.348	0.924	0.106	0.340	0.911	0.173
Dg	0.090	0.019	0.406	0.068	0.081	0.405
Vg	0.344	0.927	0.100	0.348	0.912	0.073
c	0.572	0.141	0.644	0.484	0.221	0.672
f _{ck}	0.892	-0.311	0.109	0.809	-0.350	0.142
E _c	0.433	-0.375	0.625	0.400	-0.378	0.561

表 11 各圧縮強度による因子負荷量分析

Age	28days								
	F500			F600			F700		
Factor loading									
Variable	PC-1	PC-2	PC-3	PC-1	PC-2	PC-3	PC-1	PC-2	PC-3
W	0.355	0.094	-0.498	-0.612	-0.093	-0.145	0.358	-0.191	-0.749
W/(C+Fa)	-0.826	-0.044	-0.219	0.704	0.420	-0.388	-0.770	0.504	-0.325
C	0.984	0.096	-0.023	-0.883	-0.389	0.252	0.826	-0.548	0.019
Fa	0.974	0.010	-0.045	-0.889	-0.398	0.263	0.830	-0.543	0.028
s/a	-0.210	-0.872	-0.154	0.774	-0.622	-0.041	-0.913	-0.344	0.110
S	-0.623	-0.712	0.169	0.910	-0.364	-0.085	-0.982	-0.074	0.117
G	-0.035	0.985	-0.016	-0.297	0.933	-0.045	0.540	0.796	-0.001
Dg	-0.028	0.000	0.158	0.398	-0.155	0.399	0.506	0.296	0.218
Vg	-0.035	0.985	-0.016	-0.295	0.934	-0.046	0.538	0.798	-0.002
c	-0.600	0.456	0.403	0.386	0.521	0.606	0.150	0.767	0.340
f _{ck}	0.186	0.052	0.870	-0.188	-0.037	-0.186	0.538	-0.344	0.546
E _c	-0.503	-0.052	0.609	0.660	0.253	0.444	-0.408	-0.078	0.625

Age	56days								
	F600			F700			F800		
Factor loading									
Variable	PC-1	PC-2	PC-3	PC-1	PC-2	PC-3	PC-1	PC-2	PC-3
W	0.292	-0.362	-0.601	-0.102	-0.440	0.508	0.523	-0.579	-0.394
W/(C+Fa)	-0.334	0.751	0.347	0.469	-0.062	-0.051	-0.631	-0.413	0.147
C	0.461	-0.879	0.029	-0.452	-0.047	0.149	0.843	0.056	0.051
Fa	0.462	-0.873	0.034	-0.463	-0.036	0.139	0.843	0.048	0.086
s/a	-0.834	-0.268	0.049	-0.354	0.150	0.072	-0.806	0.010	-0.039
S	0.860	0.376	-0.299	-0.137	0.159	-0.001	-0.936	0.036	-0.073
G	0.860	0.376	-0.297	0.720	-0.119	-0.039	0.333	0.031	-0.040
Dg	0.424	-0.014	0.236	0.449	0.559	0.637	-0.016	0.395	0.853
Vg	0.860	0.376	-0.297	0.719	-0.118	-0.239	0.334	0.030	-0.039
c	0.496	-0.736	0.100	0.367	0.775	0.052	0.124	0.641	0.147
f _{ck}	0.626	-0.221	0.299	-0.540	0.215	-0.101	0.600	0.239	-0.559
E _c	0.401	0.401	0.426	-0.476	0.468	-0.455	-0.536	0.456	-0.030

主成分(PC-3)では W , Dg , c が共通変量になるが, 粗骨材量は共通変量にされなかった。

(2) 各材齢別圧縮強度に対し分析

表 - 11 は各圧縮強度に対し主成分分析結果を示したものである。第1主成分(PC-1)では圧縮強度がほぼ一定な変数であり共通変量から除くと $W/(C+Fa)$, C , Fa , S , c , E_c が共通変量になることが分かる。また, 材齢 28 日の場合分析によると第1主成分でセメントの増加(0.929), 細骨材量減少(-0.959)が圧縮強度の増加(0.892)に相関性があり, 圧縮強度の増加を独立変数にするとヤング係数の増加(0.433)になる。しかし, 材齢 56 日の場合圧縮強度が共通変量から除けば第1主成分(PC-1)でセメントの増加(0.984), 細骨材量の減少(-0.623)によりヤング係数が減少になり, 相関分析の傾向と類似である。

4. まとめ

本研究での結果は次のようになった。

- (1) 単位水量はヤング係数に負相関関係であることが確認される。
- (2) 粗骨材の最大寸法は 19mm 以下の場合, 粗骨材量が少ないほどコンクリートのヤング係数が高くなる傾向がある。
- (3) 高強度コンクリートのヤング係数に影響を及ぼす配合要因としては水結合材比, 単位水量, セメント量, 細骨材量の配合要因が独立変数として相関関係があることが認められる。

参考文献

- 1) 田中豊, 脇本和昌: 多変量統計学, 1995.1, pp.129-152
- 2) Sir Maurice Kendall, Multivariate Analysis, 1980. pp.13-29
- 3) 張一永ほか: 国内の実験資料を利用した高強度及び超高強度コンクリートの弾性係数式, 韓国コンクリート学会誌, Vol. 8, No. 6, 1996.