

言 語

土木學會誌 第十三卷第六號 昭和二年十二月

日本及び獨逸の標準試験方法による同一
混凝土の應壓強度に就て

(昭和二年十一月五日工學會大會土木部會講演會に於て)

會員 工學博士 吉 田 徳 次 郎

On the Compressive Strength of Concrete, tested according
to the Japanese and German Standard Methods.

By Tokujiro Yoshida, Dr. Eg., Member.

内 容 梗 概

混凝土の應壓強度は其の試験法によつて異なるものであるから、標準方法が我國と大に異なつて居る獨逸などの書籍雜誌に出て來るある應壓強度を有する混凝土は、日本の標準方法で試験してそれと同一數値の強度を有する混凝土に比べて大差あるべきことは明白である。本文は此の關係を明かにするために日本及び獨逸の標準方法による同一混凝土の應壓強度を試験し、前者と後者の強度の比は硬練混凝土に就て約 0.6、普通鐵筋混凝土工事に使用せらるゝ調合及び使用水量の混凝土に就て平均 0.75 なる事を結論とせるものである。

Synopsis

Standardization of methods of making compression tests of concrete plays an important role in studies of concrete. As our standard methods are considerably different from those of Germany, it sometimes becomes important to know the relative strength of concrete tested by Japanese and German standard methods. The paper describes the results of compression tests made for this purpose, and concludes that the ratio of strength tested by Japanese and German standard methods is about 0.6 for dry mixtures and 0.75 for the mixtures of proportions and workabilities generally used in reinforced concrete construction.

ある混凝土の應壓強度が供試體の形狀、寸法、填充方法、養生、荷重を加へる方法等、供試體の製作から應壓試験を終るまでのあらゆる階梯に於ける處理方によつて支配されることは周知の事であります。それで各所の研究又は現場の混凝土の強度試験の結果を比較参考しうするためには他の材料の場合と同様に混凝土の應壓強度試験の標準方法を定めることが必要になるのでありまして、世界各國混凝土の標準試験方法が定まつて居ります事は皆様の御承知の通りであります。

我國では東大の佐野、永山兩教授の御盡力によりまして大正 15 年 10 月混凝土に關する協議會に於て混凝土の應壓強度試験に關する標準が出来ました。それで國內に於ては試験方法が一定して居なかつたために起る諸種の不便は取り除かれたのでありますが現今世界各國の標準試験方法は同一でないために標準試験方法が吾國と大に異なつて居る、外國例へば獨逸の書籍、雜誌に出て來る混凝土の強度を比較参考致さうと致しますと頗る不便を感じますことは丁度我國に標準方法が定められます前に我國に於ける各所の混凝土の強度を比較致さうとしました時と同じ状態で御座います。之れは各國人とも同様な立場にあるのでありますが唯獨逸人は必要な研究は自國でやると云ふ自信があり、米國人は必要な研究は何んでもやると云ふ富力がありますから此の點で不便を感じますことは吾々日本人よりは餘程少ないのであらうと思はれます。それで我國は日本の標準試験方法が出来たと云ふ事に満足せず更に進んで萬國的な標準試験方法の制定に努力することの必要に迫られて居る様に思はれます。此の點に就て皆様の御盡力を今より切望して止まぬ次第で御座います。鐵其の他の建築材料に關する各國の標準試験法は大體同じ様なものでありますのに混凝土に關しては非常な差がありますと云ふ事は混凝土及び鐵筋混凝土の進歩と云ふ上からしても嘆すべきことであると存ぜられるのであります。

さて現今世界各國の混凝土應壓強度の標準試験方法に就て代表的のものと考へられるものが二つあります。一つは米國の標準試験法で他は獨逸の標準試験法であります。米國のは米國材料試験協會の制定したものであります (Tentative Methods of Making Compression Tests of Concrete. Serial Designation C 39-25. 及び Standard Methods of Making and Storing Specimens of Concrete in the Field. Serial Designation C 31-21).

獨逸のは獨逸鐵筋混凝土委員會の制定したものであります (Bestimmungen des Deutschen Ausschusses für Eisenbeton September 1925. D. Bestimmungen für Druckversuche an Würfeln bei Ausführung von Bauwerken aus Beton und Eisenbeton).

此の二つの代表的標準試験方法には可なり大きな差があります。

供試體の形狀寸法に就きましては、米國の標準方法では 6×12 吋又は 8×16 吋の圓筒即ち直徑の 2 倍の高さの圓筒を使用して居りますが獨逸の標準方法では 20 cm 又は 30 cm の

立方體を使用して居ります。此の供試體の形狀及び寸法に於ける差丈からでも強度に可なり大きな差を生ずるのであります。

填充方法に就ては米國の標準方法では混凝土を 3 層又は 4 層に分つて型に入れ毎層直徑 $\frac{5}{8}$ 吋、長さ 21 吋又は 25 吋の鐵棒の一端を鈍く尖らしたもので約 25 回の搗き固めをなす事になつて居りますが獨逸の標準方法では混凝土を使用水量によつて硬練、中練及び軟練の 3 種に分ち、硬練及び中練の混凝土を填充するには供試體と同じ内部寸法を有する型の上に更に型をかぶせ、2 層に分けて填充します。各層の高さを一定して置き毎層を 1 邊が 12 cm の正方形で重量 12 kg. の搗き固め器具び一定の高さから一定の順序で 1 箇所を 12 回搗き固めることになつて居ります。軟練混凝土は現場で填充すると同じ様に填充するのであります。米國の標準方法に比べて獨逸の標準方法では硬練及び中練の混凝土に於ける搗き固めが非常に充分であります。之れが同一混凝土を試験した時、殊に硬練混凝土の場合に於て強度に大なる差を生ずる原因の一つであります。

養生法に就ては米國の標準方法では試験の前まで濕砂又は濕氣ある室中等に貯藏し充分濕氣を加へて養生することになつて居りますが獨逸の標準方法では供試體を製作してから第 2 日目より第 7 日目迄布で覆つて撒水致しますが其の後は布で覆つた丈で空氣の流通がある様に貯藏することに規定してあります。此の養生法の差も、殊に長期の試験に於て強度に非常な差を生ずる原因であります。

以上が米國の標準試験方法と獨逸の標準試験方法との差の主なるものであります。いづれの方法がよいかと云ふ事につきましては一得一失が御座いますが、とも角之れ丈の差がありますから試験の結果として同一混凝土の應壓強度に數割の差を生ずることは當然の事でありませう。

日本の標準試験方法は米國の標準試験方法を簡單にしたものでありますから米國に於ける試験の結果は直ちに日本に於ける試験の結果と比較してみることが出来るのであります。米國の標準試験法と獨逸の標準試験法とは以上に述べました様な差がありますために獨逸で行はれました試験の結果を直ちに我國の場合に應用することが出来ぬ場合が多いのであります。

「獨逸の規定には許容應力を何程に取つてあるから日本でも之れを用ゐて安全である」と云ふ様な議論を時々聞くのであります。之れは日本と獨逸とは混凝土の應壓強度の標準試験方法が異なつて居ると云ふ事實を忘れた議論でありまして其の誤であることは明白であります。現今鐵筋混凝土の計算に使用せられて居ります混凝土の許容應力は極應壓強度何程以上の混凝土に就て何程、又は極應壓強度の何分の一と云ふ風に定められるのが普通でありまして之れが當然の事でありませう。夫れ故に各國の許容應力を比較すると云ふ様な場合には、た

とへ其の數値は同じであつても實は安全率に於て差があるのであると云ふ事を無視してはならぬ譯であります。之れと同時にある許容應力に對する安全率が小になつて居りましても他に之れを補ふ規定がありはしないかと云ふ事に就ての注意を忘れてはならぬ次第であります。

ともかく混凝土の最も大切な性質の一つである應壓強度を定める標準試験方法に差のあることは實に不便のことであり、萬國的な標準試験方法の制定について重ねて各位の御盡力を懇願致します次第で御座います。

私も學校の教師を致して居ります關係上此の點について常に非常な不便を感じて居ります。せめて日本及び獨逸の標準試験方法による同一混凝土の應壓強度の關係を明らかにしたいと豫ねてから存じて居りました。幸に2,3の方の御援助によりまして極めて不完全ながら試験を致しましたものが御座います。今日之れを申上げて皆様の御参考に供し度いと存じます。

日本及び獨逸の標準試験方法による同一混凝土の應壓強度試験

先づ材料に就て申上ります。

セメントは小野田ポルトランド・セメントで直接同會社から購入したものであります。

砂及び砂利は數年來私の實驗室で使用致して居るものでありまして福岡地方に於ける最上等の品位のものであります。

〔砂は第4番篩を通過せしめたもので1立方メートルの重量1635kg, 空隙率36.9%, 細率(Fineness modulus) 2.94〕

〔砂利は篩番號1吋を通過したもので之れを篩番號 $\frac{3}{4}$ 吋, $\frac{1}{2}$ 吋, $\frac{3}{8}$ 吋及び $\frac{1}{4}$ 吋に止まれるもの、4種に篩別し重量によつて篩分試験の結果と合する様に調合して砂利の大小粒混合の割合を均一ならしめた。重量は1立方メートル1693kg, 空隙率38.75%, 細率6.66である〕。

混凝土の調合及び流動性試験に用ひました混凝土の調合は容積で1:1½:3, 1:2:4, 1:2½:5及び1:3:6の4種であります。いづれも重量比に換算して計量混合したものであります。

使用水量は獨逸の標準方法に示してある硬練, 中練及び軟練に相應する混凝土を得られる様に致しました。従つて混凝土の調合によつて使用セメントの重量に對する使用水量の百分率は異なつて居ります。調合1:1½:3の混凝土では使用水量セメント重量の40%, 60%及び80%の3種, 1:2:4混凝土では50%, 70%及び90%の3種, 1:2½:5及び1:3:6混凝土では60%, 80%及び100%の3種と致し示した。

依つて割合及び使用水量に關して試験に用ゐました混凝土の種類は 12 種であります。

各種混凝土の流動性をスランプテスト、フローテスト、及び私の考案致しましたドロップテストで測定致しました結果は第一表の通りであります。

第一表 試験に用ゐたる各種混凝土の流動性

調 合 (容積)	使用水量 セメント重 量に對する 百分率	流 動 性		
		スランプ テスト 時	フロー テスト	ドロップ テスト
1:1½:3	40	0	147	1.17
"	60	5.4	171	1.69
"	80	7.5	205	2.22
1:2:4	50	6.2	158	2.13
"	70	4.4	165	1.78
"	90	7.1	241	1.96
1:2½:5	60	6.6	156	1.92
"	80	3.5	165	1.76
"	100	5.7	128	1.82
1:3:6	60	6.2	159	2.03
"	80	5.6	155	1.97
"	100	7.5	175	1.89

混凝土の捏混は凡て手練であります。私の實驗室に於ける標準方法で入念に混合致したの
であります。混凝土 1 回の練高は圓壙及び立方體の供試體各 1 個宛を作つて多少の餘分ある様に致しました。

供試體は以上に述べた 12 種の混凝土について 15×30 cm 及び 20×40 cm の圓壙供試體各 3 個宛、總計 72 個の圓壙供試體と、20 cm 及び 30 cm の立方供試體各 3 個宛、總計 72 個の立方供試體とを製作致しました。

圓壙供試體の製作、養生、試験法等は凡て日本の混凝土應壓強度試験に關する標準に従ひましたもので之れに明示しない事項は米國

材料試験協會の標準方法 (Standard Method of Making and Storing Specimens of Concrete in the Field C 31-21.) によりました。

立方供試體の方は獨逸鐵筋混凝土委員會の規定 (D. Bestimmungen für Druck versuche an Würfeln bei Ausführung von Bauwerken aus Beton und Betoneisen 1925) によりました。

ひと練の混凝土から 15×30 cm の圓壙と 20 cm の立方體又は 20×40 cm の圓壙と 30 cm の立方體とを作りて強度を比較する様に致しました。

獨逸の標準試験方法による型枠其の他一切の器具は獨逸製のもので小野田セメント製造株式会社から拜借致したものであります。軟練混凝土の搗き固めには斷面 25×35 mm、長さ 1.70 m の木棒を用ゐました。

15×30 cm 圓壙供試體と 20 cm の立方供試體の應壓強度試験の材齡は凡て 28 日であります。20×40 cm の圓壙と、30 cm の立方體のものは私の實驗室にある試験器の能力が不足致しますために小野田セメント製造株式会社を送りて試験して戴きました。輸送其の他の事情で大部分材齡 45 日になつて居ります。

試験の結果は第二表及び第三表に示してある通りであります。數字は供試體各 3 個の平均値であります。此の 3 個は別々の練上げ混凝土から製作されたもので製作月日の異なつた

第二表 獨逸及び日本の標準試験方法による同一混凝土の應壓強度試験成績

材齡 28 日。數字は供試體各 3 個の平均値を示す

番 號	調 合 (容 積)	使用水量 (セメントの 重量に對す る百分率)	1 立方米の重量		應壓強度 $kg/cm.^2$		應壓強度の比	
			kg.		日 本 (15×30cm の圓筒)	獨 逸 (20cmの 立方體)	日 本 獨逸	日 本 獨逸
			日 本	獨 逸				
1	1:1½:3	40	2215	2270	261	390	0.67	1.50
2	"	60	2263	2302	213	265	0.80	1.24
3	"	80	2285	2364	134	162	0.83	1.21
4	1:2:4	50	2198	2241	180	296	0.61	1.65
5	"	70	2275	2289	148	196	0.76	1.32
6	"	90	2249	2220	98	119	0.82	1.21
7	1:2½:5	60	2264	2258	133	223	0.60	1.68
8	"	80	2244	2255	97	135	0.72	1.39
9	"	100	2249	2214	76	106	0.72	1.40
10	1:3:6	60	2069	2154	100	189	0.53	1.89
11	"	80	2133	2270	78	167	0.47	2.14
12	"	100	2075	2193	74	141	0.52	1.91

第三表 獨逸及び日本の標準試験方法による同一混凝土の應壓強度試験成績

數字は供試體各 3 個の平均値を示す

番 號	調 合 (容 積)	使用水量 (セメントの 重量に對す る百分率)	供試體 の材齡 日數	1 立方米の重量		應壓強度 $kg/cm.^2$		應壓強度の比	
				kg.		日 本 (20×40cm の圓筒)	獨 逸 (30cmの 立方體)	日 本 獨逸	日 本 獨逸
				日 本	獨 逸				
1	1:1½:3	40	45	2196	2385	215	455	0.47	2.12
2	"	60	"	2356	2363	275	328	0.85	1.19
3	"	80	"	2340	2333	208	236	0.88	1.13
4	1:2:4	50	45	2196	2370	182	338	0.54	1.86
5	"	70	"	2348	2381	204	282	0.72	1.38
6	"	90	28	2302	2310	87	126	0.69	1.45
7	1:2½:5	60	45	2165	2311	145	244	0.59	1.68
8	"	80	"	2220	2330	136	259	0.52	1.91
9	"	100	28	2267	2292	92	135	0.68	1.47
10	1:3:6	60	45	2085	2259	117	209	0.56	1.79
11	"	80	"	2165	2333	167	206	0.81	1.23
12	"	100	28	2271	2275	84	137	0.61	1.63

ものも少なくありませんが凡て近似の値を示して居りました。

第二表の 15×30 cm の圓塔供試験體及び 20 cm の立方供試験體は普通の鐵筋混凝土に用ひられて居ります砂利の最大寸法に對して用ひられる標準寸法のものであります。此の第二表から見ますと日本及び獨逸の標準試験方法による同一混凝土の應壓強度の比は

第一 同一調合のものに對しても使用水量によつて異なるもので、硬練混凝土に於ては獨逸の試験方法に於ける搗き固めの影響が著しくあらはれて居る様であります。中練及び軟練に於ては搗き固めの差による影響が小になつて應壓強度の比が殆んど相等しい値を示して居ります。調合に關係なく平均を取つて見ますと硬練混凝土に於ては日本の標準試験方法によつて得らるゝ應壓強度は獨逸の標準試験方法によつて得らるゝものゝ約 6 割に當り、中軟及び軟練混凝土の場合には平均 7 割に當つて居ることが見認められます。

第二 調合によつても異なつて居ります。即ち中練及び軟練混凝土について日本及び獨逸の標準試験方法による應壓強度の比は 1:1 $\frac{1}{2}$:3 混凝土で 0.82, 1:2:4 混凝土で 0.79, 1:2 $\frac{1}{2}$:5 混凝土で 0.72, 1:3:6 混凝土で 0.5 と云ふ成績を示して居ります。

普通鐵筋混凝土工事に使用されて居ります調合及び使用水量の混凝土に就ては供試験體の形狀の差即ち直徑と高さとの比の差による影響が最も多くあらはれて居る様でありまして斯の如き混凝土に對して日本及び獨逸の標準試験方法による應壓強度の比は材齡 28 日に於て 0.7 乃至 0.8, 平均 0.75 と見て差支へない様に思はれます。

第三表は 20×40 cm の圓塔及び 30 cm の立方體を供試験體とした場合でありまして供試験體番號 6, 9, 及び 12 の 3 種を除き他は凡て試験の材齡 45 日であります。此の表に示して番ります試験の結果は供試験體の輸送中に於ける養生法の不完全及び其の他の事情のために第二表の結果に比べて正確の度は幾分劣つて居ります。供試験體の寸法, 試験の材齡其の他の事情が異なつて居りますために第二表の結果と直ちに比較することは出来ませんが大體の傾向はほぼ第二表の場合と同様でありまして第二表の結果の正しい事を證するに足るものと思はれます。

又第二表及び第三表から獨逸の標準方法にあつて製作した供試験體混凝土の 1 立方メートルの重量は殆んど凡て日本の標準方法によつたものゝ重量より大である事、及び大體に於て其の重量の差の大なるもの程應壓強度の差が大であると云ふ事を認めることが出来ます。

結論。實驗の結果から見まして次の二つの數字は標準の値としてほぼ正しいものであります。

日本及び獨逸の混凝土應壓強度標準試験方法による同一混凝土の應壓強度の比は硬練混凝土に於ては約 0.6 であり、普通鐵筋混凝土工事に使用せらるゝ調合及び使用水量の混凝土に於ては平均 0.75 であります。

此の實驗は小野田セメント製造株式會社の御援助による處が甚だ多いのであります。茲に謹んで感謝の意を表します。

最後に此の試験は供試體の數も少なく不完全の點も少なくありませんが萬國的な試験方法の制定されます日まで、獨逸又は獨逸とほゞ同様な試験方法を採用して居ります國の雜誌などを御覽になります時に幾分の御参考になるかと存じます。また之れを動機として設備し費用ある實驗室に於て此の試験を繰り返して戴き度い事を切に希望致す次第で御座います。然しいくら充分な試験が出来ても實際の場合に直ちに正確にあてはまると云ふ結果をうることは殆んど不可能の事でありますから之れと同時に各位が萬國的の標準試験方法の制定について御盡力下さらんことを三たび懇願して此の席を下ります。(完)