

温水養生法によるコンクリート強度の早期判定試験方法の高強度コンクリートへの適用に関する一考察

ものつくり大(学部) ○大塚 秀三
ものつくり大 中田 善久
飛坂技術士事務所 飛坂 基夫
前足利工業大学 毛見 虎雄

1. はじめに

JIS A 1805：2001「コンクリート生産工程管理用試験方法－温水養生法によるコンクリート強度の早期判定試験方法」(以下、早期迅速強度試験と称する)において、温水養生(40℃)を行い早期判定する材齢 28 日における圧縮強度について、日本国内産の普通ポルトランドセメントおよび高炉セメントB種を用いたコンクリートでは、推定式が示されている。この推定式は、いずれのセメントを用いれば標準養生した材齢 28 日における圧縮強度が 16～55N/mm²の範囲において相関性が非常に高く、普通セメントに限って推定式の採用が可能とされている。しかし、実際の圧縮強度が 70N/mm²を越えるコンクリートについて回帰式が異なり、推定式が示されるに至っていない。また、コンクリート強度の合理的な品質管理を行うために、近年のコンクリートの高強度化に対応した推定式の設定と普通ポルトランドセメントおよび高炉セメント B 種以外のセメントなどの温水養生法の適用範囲について更なる検討が行われていない。

そこで、本研究は、実機生コンプラントにおいて製造された設計基準強度 40～60N/mm²クラスの高強度コンクリートを対象として、夏期、標準期および冬期の3シーズンを通して温水養生法による早期迅速強度試験を行い、高強度領域における強度管理と3種類のセメントへの適用性の基礎的な検討を目的としたものである。

ここでは、夏期における普通ポルトランドセメント、中庸熱ポルトランドセメントおよび低熱ポルトランドセメントの3種類のセメントを用いたコンクリート(以下、N,MおよびLと称する)を対象に、それぞれについて W/C および前置き養生時間を変化

させて早期迅速強度試験を行った結果について検討した。

2. 実験方法および検討項目

実験の要因と水準を表 1 に示す。セメント種類、W/C(%)および前置き養生時間(h)を各3水準に設定した。各種のコンクリートの使用材料を表 2 に示す。また、コンクリートの調合およびフレッシュコンクリートの試験結果を表 3 に示す。

早期迅速強度試験は、前置き養生時間の設定を除き JIS A 1805：2001 に拠った。コンクリートを実機生コンプラントにおいて製造し、トラックアジテータにて運搬した後、荷卸し 90 分に試料の採取を

表1 実験の要因と水準

要因		水準
セメント		N,M,L
W/C (%)	N	47.0, 37.0, 27.0
	M	47.0, 37.0, 27.0
	L	45.0, 35.0, 25.0
前置き養生時間(h)		24,48,72

表2 使用材料

材料	種類	品質・性状・主成分
セメント	普通ポルトランドセメント N	密度: 3.16g/cm ³ 比表面積: 3,290cm ² /g
	中庸熱ポルトランドセメント M	密度: 3.21g/cm ³ 比表面積: 3,230cm ² /g
	低熱ポルトランドセメント L	密度: 3.22g/cm ³ 比表面積: 3,430cm ² /g
水	地下水	生コン工場内井戸
粗骨材	栃木県安蘇郡葛生町産 碎石2005	表乾密度:2.72g/cm ³ 粗粒率:6.65 実積率:60.0% 吸水率:0.59%
細骨材	栃木県栃木市尻内町産 陸砂	表乾密度:2.61g/cm ³ 粗粒率:2.75 吸水率:2.30%
化学混和剤	高性能AE減水剤	ポリカルボン酸系化合物

表3 コンクリートの調合およびフレッシュコンクリートの試験結果

セメントの種類	記号	W/C (%)	S/a (%)	単位量 (kg/m ³)					Ad* (C×%)	フレッシュコンクリートの試験結果				外気温度 (°C)
				W	C	S	G	Ad*		スランプ (cm)	スランプフロー (cm×cm)	空気量 (%)	コンクリート温度 (°C)	
N	N-47	47.0	50.6	175	373	874	883	4.290	1.15	22.0	37.0×36.0	5.5	30.0	31.0
	N-37	37.0	50.7	170	460	846	851	6.210	1.35	-	47.0×46.0	4.3	31.0	31.0
	N-27	27.0	46.2	170	630	707	857	9.450	1.50	-	54.0×54.0	3.3	32.0	30.0
M	M-47	47.0	50.8	175	373	880	883	3.917	1.05	22.5	41.0×41.0	3.8	28.0	27.5
	M-37	37.0	50.9	170	460	853	851	5.980	1.30	-	54.0×53.0	4.5	29.0	29.0
	M-27	27.0	45.9	170	630	697	857	9.135	1.45	-	60.0×59.0	4.1	31.0	29.5
L	L-45	45.0	51.0	170	378	890	883	3.969	1.05	23.0	42.0×38.0	3.6	29.0	29.5
	L-35	35.0	51.0	165	472	856	851	5.900	1.25	-	50.0×50.0	3.4	30.0	29.0
	L-25	25.0	46.1	165	660	705	851	7.920	1.20	-	66.0×65.0	3.7	30.0	27.5

※ポリカルボン酸系高性能AE減水剤

行った。試料の採取時にスランプ(JIS A 1101)、スランプフロー(JIS A 1105)、空気量(JIS A 1128)およびコンクリート温度についてフレッシュコンクリートの試験を行った。供試体は、コンクリート強度試験用供試体の作り方(JIS A 1132)に準拠して作製し、作製後直ちにビニールによって上面を封かんし、恒温恒湿室(室温20°C,RH60%)において、24,48および72時間気中養生した後、型枠を脱型し、温水養生槽に浸せきし試料採取後7日間まで養生した。その後、コンクリートの圧縮強度試験(JIS A 1108)を行った。本実験で用いた温水養生槽の外観を写真1に示す。温水養生槽は、水温を40±1°Cに保持するための自動温度調節装置および循環装置を備えたポリエチレン樹脂製(内法寸法: W650×L1,000×h520 mm)であり、φ10×20cmの供試体が90本程度入る容量のものである。

ここでは、一連の実験結果から次の2つの検討項目について考察した。

①前置き養生時間の違いによる $f'e$ と $f'7$ および $f'28$ の関係

前置き養生時間の違いによる温水養生した供試体の材齢7日における圧縮強度(以下、 $f'e(24,48$ または $72h)$ と称する)を調べ、材齢7日および28日における標準養生した供試体の圧縮強度(以下、それぞれ $f'7$ および $f'28$ と称する)との関係について検討した。

② $f'e(h)$ と $f'28$ との回帰式による検討



写真1 温水養生槽の外観

最小二乗法により $f'e(h)$ と $f'28$ との回帰式を求め、JIS A 1805に示されるNにおける回帰式(以下、JIS回帰式と称する)との比較検討を行った。

3. 実験結果および考察

①前置き養生時間の違いによる $f'e$ と $f'7$ および $f'28$ の関係

C/Wと圧縮強度の関係を図1に示す。いずれのコンクリートとも $f'28$ に対する $f'7$ の強度発現性はほぼ同様の傾きを持つ直線関係にあり、 $N < M < L$ の順に強度発現性が小さくなる傾向であった。また、NおよびMにおいても、 $f'e(24,48,72h)$ の強度は、 $f'7$ および $f'28$ に対してほぼ同様の傾きであったが、LにおいてC/Wの値が大きくなるにつれて強度が増進する傾向が見られ、 $f'e(48$ および $72h)$ では、 $C/W = 4.0$ において $f'28$ に比べてほぼ同等か大きくなった。この原因は定かではないが、前置き

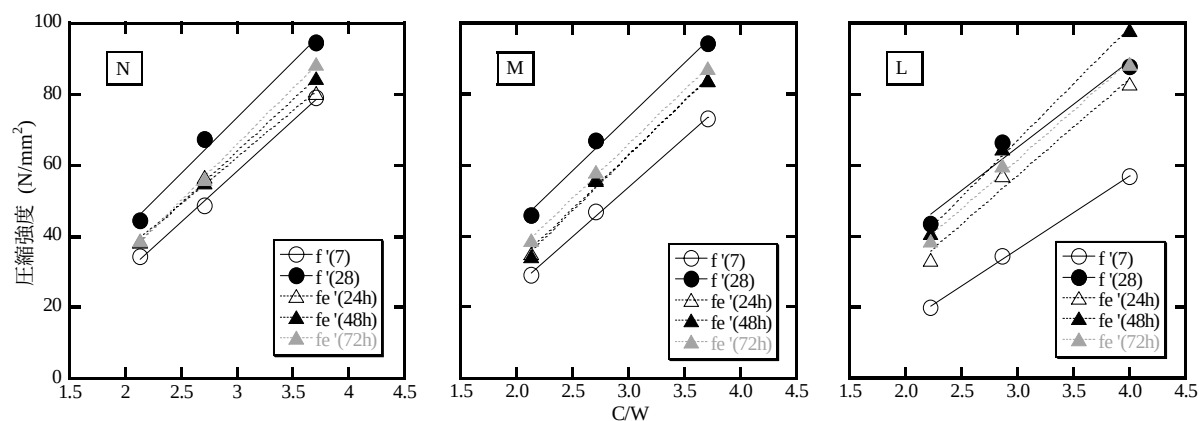


図1 C/Wと圧縮強度の関係

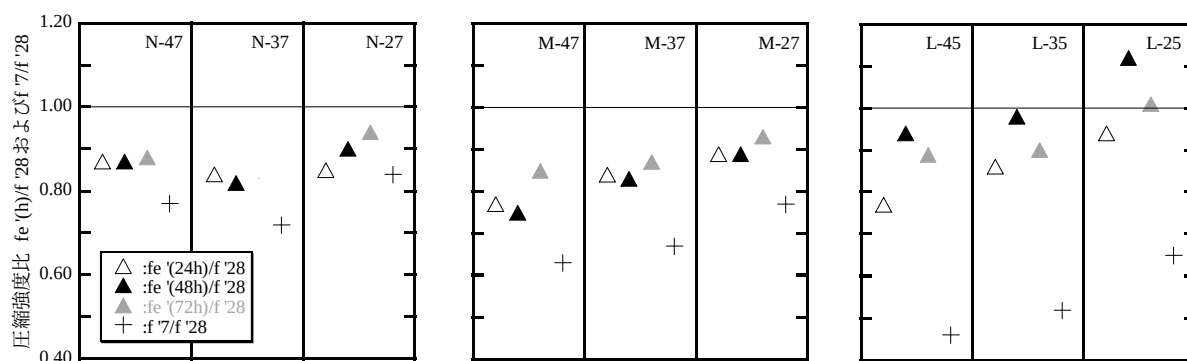


図2 圧縮強度比 $f'e(h)/f'28$ および $f'7/f'28$

養生時間を24h～48hとした供試体に比べ72hの促進7日強度は低くなる傾向²⁾とも異なる結果となった。さらに、前置き養生時間が短いとコンクリート中に含まれた空気が膨張して供試体にひび割れを生じ強度低下する傾向³⁾も報告されており、特にLの高強度領域については、前置き養生時間の詳細な検討が必要と思われる。

コンクリートの種類ごとの圧縮強度比 $f'e(h)/f'28$ を図2に示す。圧縮強度比 $f'e(h)/f'28$ は、N-47およびN-37において前置き養生時間の違いによる顕著な差は認められず、0.80～0.85程度であったが、N-27では、前置き養生時間が長くなるほど強度が増進した。M-47,M-37およびM-27dでは、 $f'e(72h)$ が最も大きくなる傾向となったが、Lでは、 $f'e(48h)$ が最も大きくなる傾向となった。また、いずれのコンクリートとも $f'e(h)/f'28$ が $f'e(h)/f'28$ を上回っており、N,M,Lの順に顕著な傾向を示した。

② $f'e(h)$ と $f'28$ との回帰式による検討

$f'e(h)$ と $f'28$ の関係を図4に示す。図4中には、

最小二乗法により求めた回帰式をそれぞれ示すとともに、JIS回帰式($f'28=1.15f'e+2.0$)も示した。また、図にプロットしたデータは、それぞれ3本の供試体の平均値および3本の圧縮強度の範囲である。いずれのコンクリートの圧縮強度とも直線関係にあり、高強度の領域に至るに従って、3本の供試体の圧縮強度の範囲が若干大きくなる。いずれも最も低強度のコンクリートが前置き養生時間の長さに関わらずJIS回帰式との相関性が高く、N,Mでは最も高強度のコンクリート以外ほぼJIS回帰式に近似していた。また、全ての強度における相関性については、N-24が最も高くほぼ近似する傾向となったが、N,M,Lの順で相関性が低くなり、いずれのコンクリートも前置き養生時間の増加に伴ってさらに相関性が低くなる傾向となった。

4. まとめ

本実験は、実機生コンプラントで製造されたコンクリートにより夏期の1シーズンにおいて早期迅速強度試験を行った。その結果、今回の実験の範囲内では、以下のことがいえる。

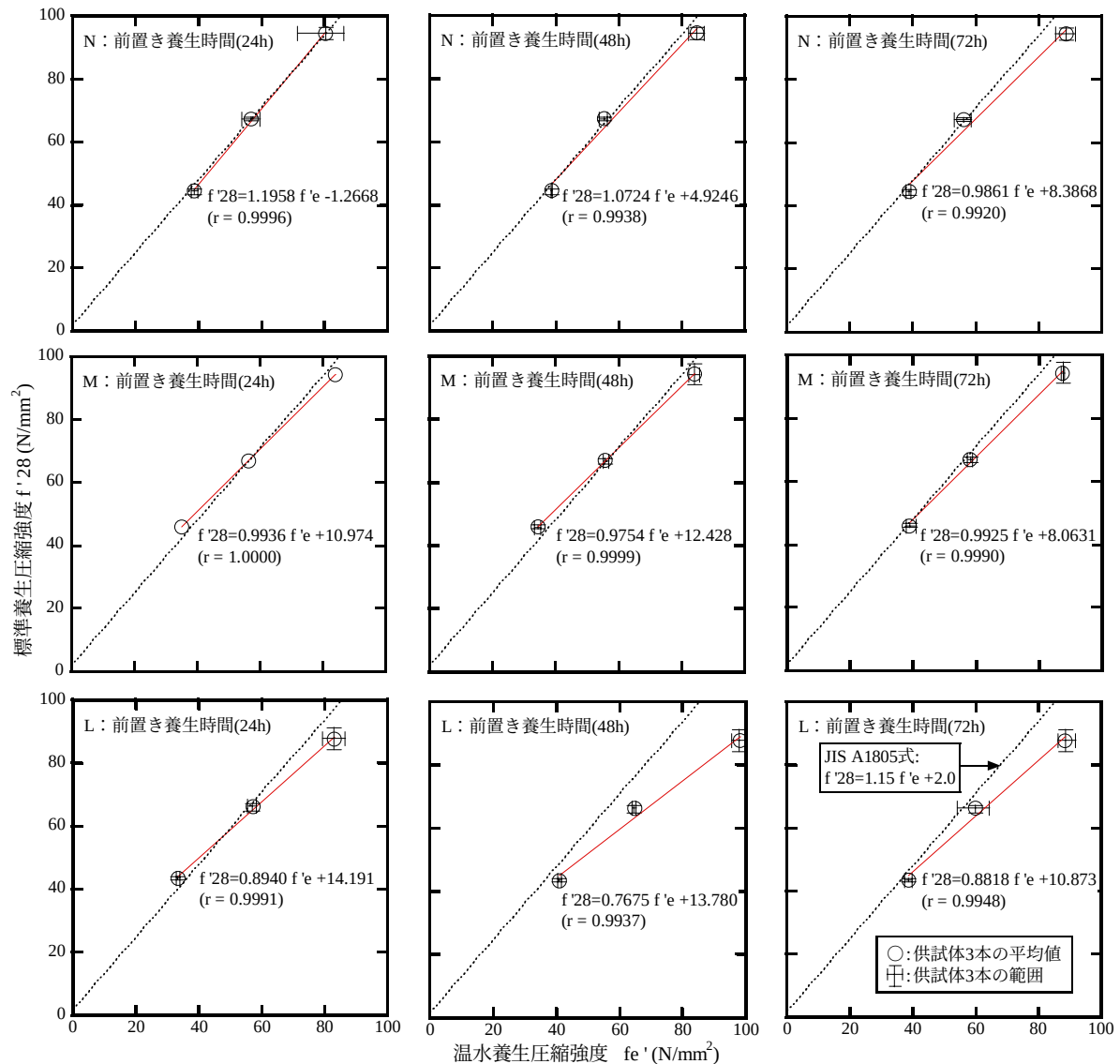


図3 温水養生圧縮強度 $f'_e(h)$ と標準養生圧縮強度 f'_{28} の関係

①前置き養生時間は、JIS 回帰式に比して、いずれのコンクリートも24時間での相関性が最も高く、Nに至ってはいずれの強度ともほぼ近似していた。また、いずれのコンクリートも前置き養生時間が長くなるにつれて相関性が低くなる傾向となった。

②いずれのコンクリートも圧縮強度の増大に伴って、JIS A 1805 の回帰式への相関性が低くなる。

③コンクリートの種類ごとによる温水養生された供試体の圧縮強度は、Lにおいて最もばらつきが大きく、JIS 回帰式への相関性が低くなる。

今後、材齢 28 日の圧縮強度を適切に推定するために、信頼性を高めるための試料の数、前置き養生時間、高強度領域におけるNおよび低強度から高強

度領域までの M,L の強度推定式の検討が必要である。さらに、標準期および冬期の2シーズンについても継続実験を行っていく予定である。

【謝辞】

本研究の実施にあたり、小山レミコン㈱、(株)内山アドバンスならびにものつくり大学建設技能工学学科中田研究室の学生より多大な協力を賜りました。ここに記して深謝致します。

【参考文献】

- 1) 池田尚治ほか：早期判定試験によるコンクリート強度の合理的品質管理方法について、セメント・コンクリート論文集, No.49, pp.522-527, 1995
- 2) JIS A 1805:2001 コンクリート生産工程管理用試験方法-温水養生法によるコンクリート強度の早期判定試験方法-解説
- 3) 例えば、上野裕康ほか：コンクリートの品質の早期判定方法-温水養生による促進強度試験方法の適用-, コンクリートライブラリー(土木学会), 38号, pp.11-19, 1974