

# 論文 温水養生法による $100\text{N}/\text{mm}^2$ を超える高強度コンクリートの圧縮強度の早期判定に関する一考察

大塚秀三<sup>\*1</sup>・中田善久<sup>\*2</sup>・飛坂基夫<sup>\*3</sup>・毛見虎雄<sup>\*4</sup>

要旨：本研究は、普通(N)、中庸熱(M)ポルトランドセメントを用いた高強度コンクリートを対象に、JIS A 1805の温水養生法による早期強度判定試験の適用性について、生コンプラントと実験室における3回繰返し試験により採取した試料の比較により検討したものである。その結果、温水養生強度と標準養生強度の関係は、Nでは $80\text{N}/\text{mm}^2$ 程度までの高強度域においては、JIS推定式に近似しているが、標準養生強度 $80 \sim 100\text{N}/\text{mm}^2$ を超える超高強度域では、推定式の傾きが異なることを明らかとした。また、Mでは、普通強度から高強度領域まで一次式で回帰でき、かつ高い相関関係が認められた。

キーワード：JIS A 1805, 温水養生法, 高強度コンクリート, 前置き養生時間, 圧縮強度

## 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、温水養生法と称する)では、温水養生(40℃)を行い、材齢7日で早期判定する材齢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(N)および高炉セメントB種(BB)を用いたコンクリートの推定式(以下、JIS推定式とする)が参考に示されており、標準養生した材齢28日における圧縮強度(以下、標準養生強度と称する)が $16 \sim 55\text{N}/\text{mm}^2$ の範囲において、JIS推定式の適用が可能とされている。また、温水養生法は、材齢7日で標準養生強度の0.8～0.9程度の強度発現が見込めるため、比較的精度良く判定が可能であるとともに、現状より早期判定が可能になり、合理的な強度管理が行える特徴を有している。しかし、温水養生法の高強度コンクリートへの適用性についての研究は、池田ら<sup>1)</sup>の研究のみであり、温水養生法の適用範囲について更なる強度域への検討は行われていない。

これまで筆者らは、温水養生法のNおよび中

庸熱ポルトランドセメント(M)を用いた高強度コンクリートへの適用性について、既報<sup>2),3)</sup>において生コンプラントで通期に(夏期, 標準期および冬期)製造されたコンクリートから採取された試料(以下、生コン採取とする)を対象として検討した結果、温水養生法で得られた強度(以下、温水養生強度と称する)と標準養生強度の関係は、高い相関性を有しており、Nでは $100\text{N}/\text{mm}^2$ 程度以下であればJIS推定式に近似すること、Mでは普通強度から高強度まで直線回帰でき、かつ相関性も高いことを明らかとした。

そこで、本研究は、NおよびMを実験室において3回繰返し練混ぜ(以下、3回練りとする)、標準養生強度推定のための推定式(以下、実験式と称する)を導出し、既報<sup>2),3)</sup>の結果によって検証するとともに、NについてはJIS推定式との相関性についても検討を行った。さらに、Nでは、高強度域の調合水準を増やして $120\text{N}/\text{mm}^2$ 程度までの超高強度コンクリートにおける温水養生強度と標準養生強度の関係についても検討を行ったものである。なお、本研究での3回繰

\*1 日本大学大学院理工学研究科博士前期課程建築学専攻 大学院生 (正会員)

\*2 ものつくり大学技能工芸学部建設技能工芸学科 助教授 博士(工学) (正会員)

\*3 飛坂技術士事務所所長 工博 (正会員)

\*4 (前)足利工業大学工学部建築学科 教授 工博 (名誉会員)

表 - 1 実験の要因と水準

要因	水準		
	生コンプラント採取(既報 <sup>2),3)</sup>		3回繰返し試験
セメント	N, M		
W/C (%)	N	47, 37, 27	N 60,47,37,30, 27,22,20,18
	M		M 60,55,47,37,27
前置き養生時間(h)	夏期	24, 48, 72	16,24,48,72
	標準期	16*, 24, 48, 72	
	冬期		
練上り後試料採取時間(h)	1.5		0 (練上がり直後)
季節	夏期, 標準期, 冬期		-
圧縮強度試験材齢(d)	温水養生供試体:7 標準養生供試体:28		

\*: W/C=27%のみ実施

表 - 2 コンクリートの使用材料

材料	種類	品質・性状・主成分	
セメント	N	密度: 3.16g/cm <sup>3</sup> 比表面積: 3,290cm <sup>2</sup> /g	
	M	密度: 3.21g/cm <sup>3</sup> 比表面積: 3,230cm <sup>2</sup> /g	
水	上水道水	-	
粗骨材	栃木県安蘇郡 葛生町産: 砕石2005	表乾密度:2.70g/cm <sup>3</sup> 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 <sup>3</sup> 粗粒率:2.75,吸水率:2.30%	
化学混和剤	AE減水剤	W/C=55% 以上 リグニンスルホン酸塩・ 特殊界面活性剤	
	高性能AE減水剤	W/C=22 ~47%	カルボキシル基含有 ポリエーテル系
		W/C=20% 以下	ポリカルボン酸系 特殊高分子

表 - 3 コンクリートの調合

実験区分	セメントの種類	記号	W/C (%)	S/a (%)	粗骨材かさ容積(m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )				Ad (C×%)		
						W	C	S	G	夏期(1回目)	標準期(2回目)	冬期(3回目)
生コンプラント採取(既報 <sup>2)</sup> )	N	N-47	47.0	50.6	0.545	175	373	874	883	1.250	1.150	0.950
		N-37	37.0	50.7	0.525	170	460	846	851	1.400	1.375	1.200
		N-27	27.0	46.2	0.525	170	630	707	851	1.500	1.400	1.200
	M	M-47	47.0	50.8	0.545	175	373	880	883	1.150	1.050	0.950
		M-37	37.0	50.9	0.525	170	460	853	851	1.400	1.300	1.150
		M-27	27.0	45.9	0.525	170	630	715	851	1.500	1.400	1.200
3回繰返し試験	N	N-60	60.0	52.9	0.545	170	283	960	883	0.700	1.000	1.000
		N-47	47.0	51.2	0.545	170	362	895	883	0.800	0.900	0.800
		N-37	37.0	50.8	0.525	170	459	848	851	1.000	1.100	1.000
		N-30	30.0	48.0	0.525	170	567	760	851	1.300	1.100	1.100
		N-27	27.0	46.2	0.525	170	630	707	851	1.400	1.200	1.100
		N-22	22.0	41.7	0.525	170	773	587	851	1.600	2.000	1.500
		N-20	20.0	39.0	0.525	170	850	525	851	3.000	3.000	3.000
		N-18	18.0	35.2	0.525	170	944	339	851	5.000	5.000	5.000
	M	M-60	60.0	53.1	0.545	170	283	966	883	0.700	0.800	1.000
		M-55	55.0	52.5	0.545	170	309	945	883	0.800	0.900	1.000
		M-47	47.0	51.3	0.545	170	362	900	883	0.900	0.900	0.950
		M-37	37.0	50.9	0.525	170	459	853	851	1.000	1.050	1.050
		M-27	27.0	46.5	0.525	170	630	715	851	1.200	1.050	1.100

りは、「JIS A 1805 解説」における推定式の導出にあたってセメント種類ごとに強度を4水準選択し、これを3回以上繰返し試験して実験定数を定めるとされることに準じたものである。

## 2. 実験概要

実験の要因と水準を表-1に示す。3回練りの水セメント比は、既報<sup>2),3)</sup>における調合水準に合わせたものを含めて、Nでは18~60%とし、Mでは27~60%を対象とした。

コンクリートの使用材料を表-2に、コンクリートの調合を表-3に示す。3回練りの使用材料は、生コン採取と同一とし、調合は、単位水量170kg/m<sup>3</sup>一定とした。

試料の採取時期は、3回練りでは練上がり直後とし、生コン採取ではコンクリートを練混ぜてからトラックアジテータにて運搬した後、荷卸し90分後とした。

温水養生供試体は、コンクリート強度試験用

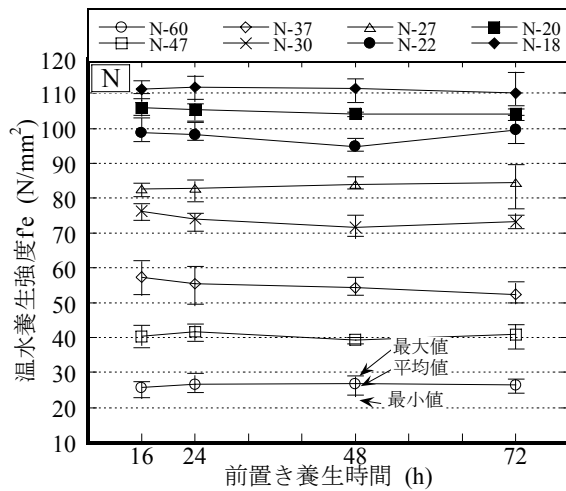
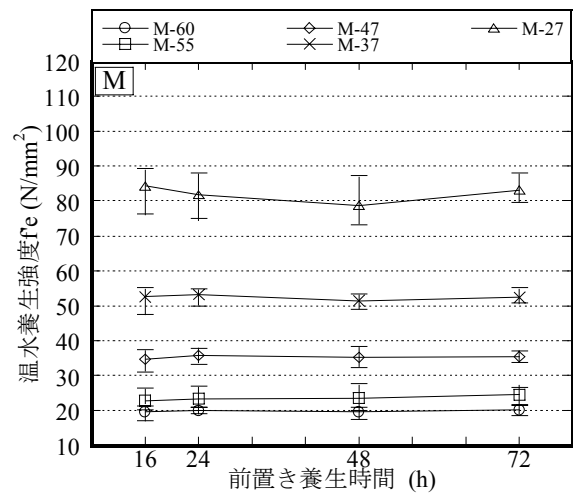


図 - 1 前置き養生時間ごとの温水養生強度



供試体の作り方(JIS A 1132)に準拠して作製し、作製後直ちにポリエチレンフィルムによって上面を封かんし、恒温恒湿室(室温 20℃, RH60%)において、所定の時間(16,24,48および72h)前置き養生した後、型枠を脱型し、温水養生槽に浸漬させ、試料採取後7日間まで温水養生した。その後、コンクリートの圧縮強度試験(JIS A 1108)を行った。なお、本実験で用いた温水養生槽は、既報<sup>2),3)</sup>において用いたものと同一である。

また、いずれも温水養生供試体の採取時に標準養生供試体の試料の採取も行い、同様に試料採取直後に上面を封かんした。標準養生供試体の圧縮強度試験の材齢は、28日とした。なお、圧縮強度試験結果は、全て供試体3本の平均値を用いた。

### 3. 結果および考察

#### 3.1 温水養生法による強度発現性の検討

前置き養生時間ごとの温水養生強度を図-1に、前置き養生時間の違いの影響に関する分散分析結果を表-4に示す。前置き養生時間ごとの温水養生強度は、NおよびMのいずれも、若干のばらつきは見られるものの、前置き養生時間の違いによる強度の差が少ない傾向にあった。そこで、前置き養生時間の相違が温水養生強度に及ぼす影響を検証するため、各水セメント比において、3回練りの結果と前置き養生時間の関係における有意性について1%の有意水準で

表 - 4 前置き養生時間の違いの影響に関する分散分析結果

記号	データ数	分散比*	記号	データ数	分散比*
N-60	12	0.13	M-60	12	0.06
N-47	12	0.34	M-55	12	0.13
N-37	12	0.70	M-47	12	0.10
N-30	12	1.49	M-37	12	0.16
N-27	12	0.17	M-27	12	0.41
N-22	12	1.17			
N-20	12	0.49			*F分布有意水準 5%:4.06,1%:7.59
N-18	12	0.12			

一元配置分散分析を行った。この結果、3回練りの回数ごとのばらつきは若干認められるものの、前置き養生時間の相違による圧縮強度への影響は、全て有意差なしとなり、NおよびMのいずれとも影響が極めて少ないことが明らかとなった。

前置き養生時間と圧縮強度比(温水養生強度/標準養生強度)の関係を図-2に、前置き養生時間24hにおけるC/Wと圧縮強度の関係を図-3に示す。前置き養生時間と圧縮強度比の関係は、Nではばらつきはあるものの、N-27~60まで概ね0.8~0.9の範囲内に分布しており、JIS A 1805解説に示される傾向と一致したが、N-18~22では0.9~1.0の範囲に分布する傾向となり、圧縮強度の増大に伴って温水養生強度と標準養生強度との差異が少なくなることが分かる。一方、Mでも同様にばらつきが認められるものの、強度の増大に伴って圧縮強度比が増大する傾向であり、Nに比べて広範に分布し、かつ同一の水セメント比を比べても若干低い値となる。これ

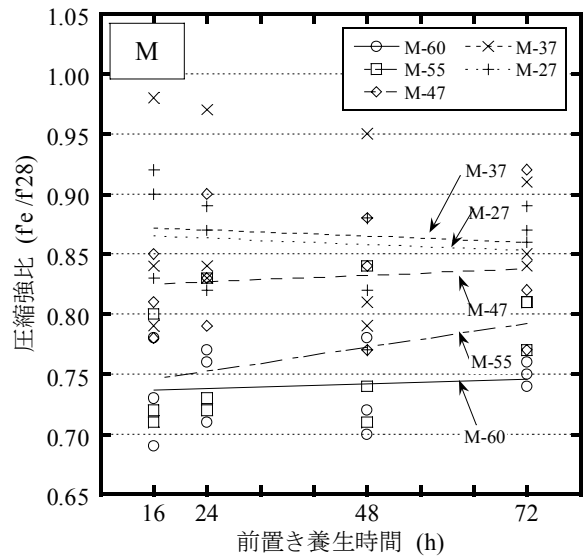
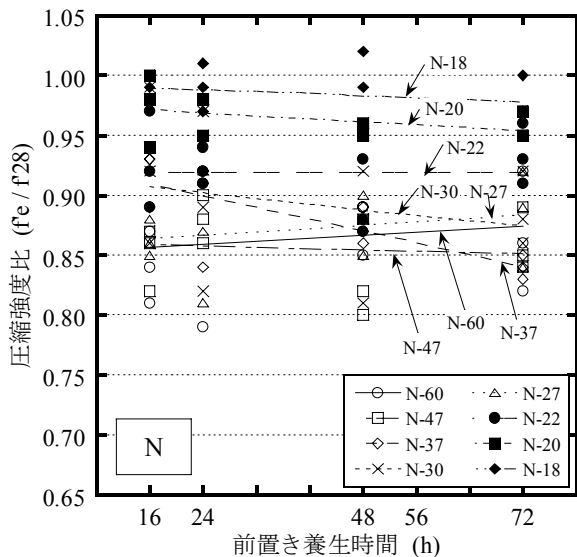


図 - 2 前置き養生時間と圧縮強度比の関係

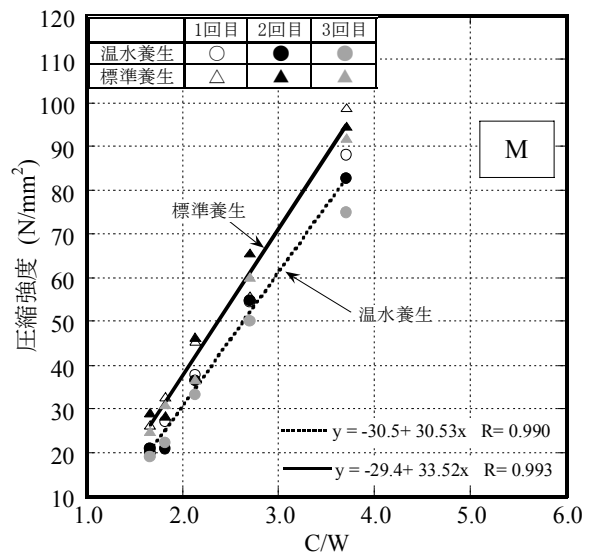
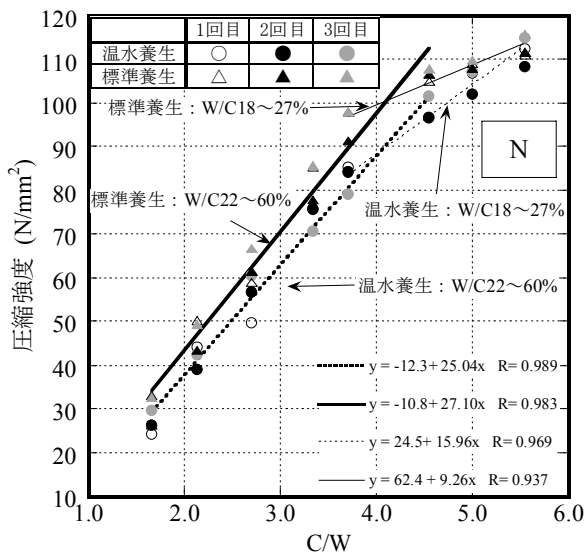


図 - 3 前置き養生時間 24h における C/W と圧縮強度の関係

は、NとMのセメント水和物の材齢に伴う強度発現性の違いに起因していると思われる。

前置き養生時間 24h における C/W と圧縮強度の関係は、標準養生強度および温水養生強度のいずれも直線性が見られ、相関性も高い。また、いずれの強度域においても標準養生強度が温水養生強度を上回っている。N における図中に示す回帰式は、水セメント比 22 ~ 60% と 18 ~ 27% に分割して示すことができ、それぞれ傾きが異なる。水セメント比 22 ~ 60% すなわち圧縮強度 100N/mm<sup>2</sup> 程度までの領域における温水養生強度と標準養生強度の関係は、普通強度の領域では、ほぼ平行の関係であり、圧縮強度の増進に伴い若干差異が大きくなる。これは、前述した

圧縮強度比からも分かる。一方、水セメント比 18 ~ 27% すなわち圧縮強度 100N/mm<sup>2</sup> ~ 120N/mm<sup>2</sup> 弱の領域では、強度の増大に伴って、標準養生強度に温水養生強度が追従し、ほぼ同等に収束していく傾向になる。

以上の知見より、N においては、水セメント比 22 ~ 27% すなわち 80 ~ 100N/mm<sup>2</sup> 程度の範囲を境に、標準養生強度と比べて温水養生強度の発現性が、これより低い強度域と明確に異なる傾向になるといえ、JIS 推定式を拡張して高強度域まで適用できないことを示唆しているといえる。

### 3.2 N および M における実験式の検討

前置き養生時間 24h における温水養生強度と



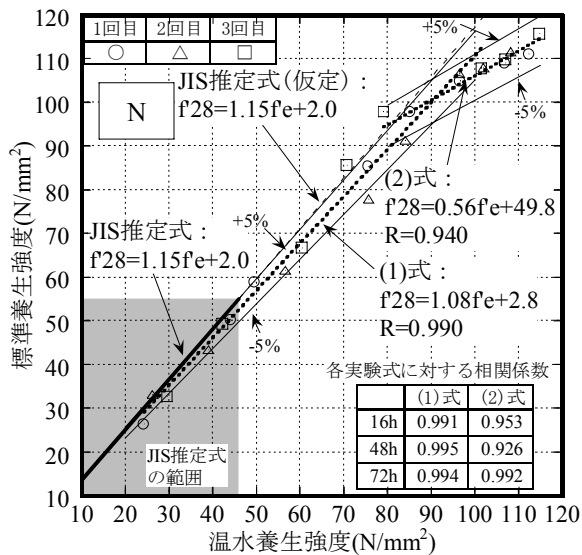


図 - 4 前置き養生時間 24h における温水養生強度と標準養生強度の関係

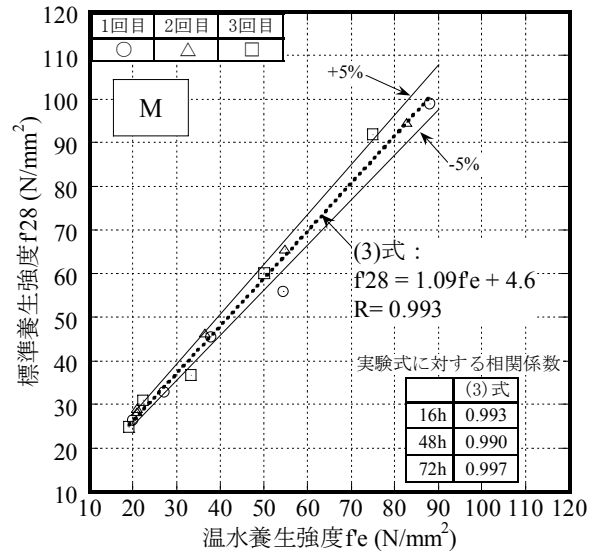


図 - 5 N における JIS 推定式および(1), (2)式による推定強度と標準養生強度の関係

標準養生強度の関係を図-4に示す。前項の検討結果を踏まえ、16～72hの範囲内では前置き養生時間の相違による影響が極めて少なく、JIS A 1805で規定される前置き養生時間が20～52hであり、実際の生コンプラントにおける強度管理の作業性を考慮して、3回練りのうち前置き養生時間24hの結果のみから、Nでは実験式(1)式および(2)式、Mでは、(3)式を導出した。Nでは、前述したように80～100N/mm<sup>2</sup>程度の範囲を境に、強度発現性が異なるため、水セメント比22～60%で(1)式、18～27%で(2)式を導出した。実験式との比較において、NおよびMのいずれとも若干突出した値が見られるものの、実験式の±5%の範囲内に分布する傾向となった。また、Nでは(1)式における低い強度域では、JIS推定式に近似している。さらに、異なる養生時間との相関性について検討した結果、図中の相関係数で表されるように、相関性も非常に高く、(1)および(2)式の適用が可能であると思われる。

NにおけるJIS推定式および(1),(2)式による推定強度と標準養生強度の関係を図-5に示す。なお、図中には、各前置き養生時間における1～3回繰返しの結果を示した。(1)および(2)式で求めた標準養生強度の推定値は、概ね±5%の範囲内にあり、導出した実験式により比較的

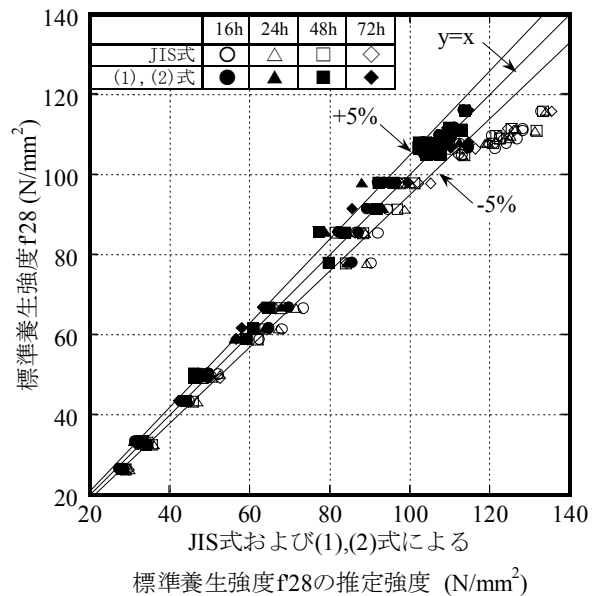


図 - 5 N における JIS 推定式および(1), (2)式による推定強度と標準養生強度の関係

精度良く推定できるといえる。一方、JIS推定式を高強度域まで適用すると仮定した場合、80N/mm<sup>2</sup>程度以下では、概ね±5%の範囲内にあり、JIS推定式により強度推定が可能であると思われるが、これ以上の強度域では、過大評価する可能性があり、繰返し試験により実験定数を定める必要があるといえる。

### 3.3 生コンプラントで製造されたコンクリートの実験式への適合性に関する検討

生コンプラントで製造されたコンクリートを用いた温水養生強度と標準養生強度の関係を図-6に示す。Mでは、季節および養生時間の相

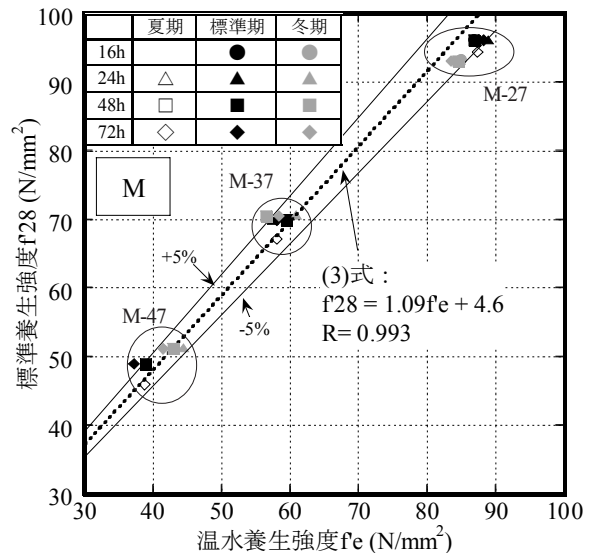
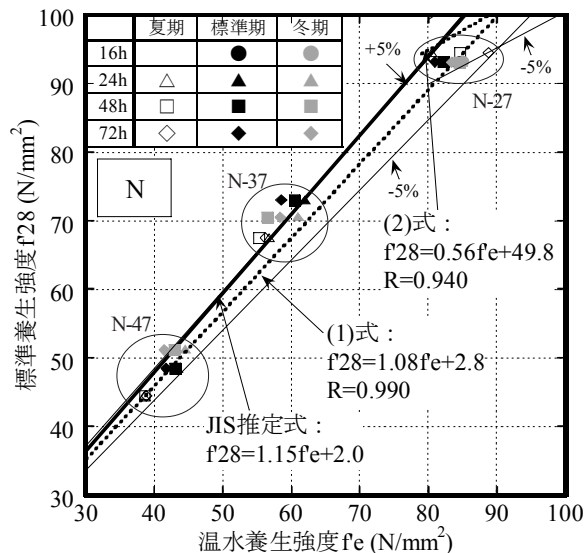


図-6 生コンプラントで製造されたコンクリートを用いた温水養生強度と標準養生強度の関係

違にかかわらず、概ね(3)式の $\pm 5\%$ の範囲内にあり、(3)式を用いて精度良く推定できるといえる。しかし、標準養生強度が $90\text{N/mm}^2$ を超える領域では、Nと同様に若干(3)式に比して下回る傾向が見られるため、今後の課題としたい。一方、Nでは、N-47およびN-27において $\pm 5\%$ の範囲内となったが、N-37においては、むしろJIS推定式に近似する傾向となった。生コン採取と3回練りで採取時間および環境温度が異なることに起因すると考えられるが、原因は定かではない。また、前述したように $80\text{N/mm}^2$ 程度以下では、JIS推定式の拡張が可能であると思われることから、さらに検証が必要である。

#### 4. まとめ

本実験の範囲内では、次の知見が得られた。  
 (1)3回練りにおける前置き養生時間の相違が圧縮強度の発現性に及ぼす影響は、極めて小さい。また、NにおけるC/Wと圧縮強度の関係は、普通強度から高強度までの領域と超高強度の領域では明確に強度発現性が異なり、強度レベルが大きくなるに従い標準養生強度と温水養生強度の差異は少なくなる。  
 (2)導出した実験式は、Nでは $80 \sim 100\text{N/mm}^2$ 程度を境として異なる傾きを持つ2式で表せるが、 $80\text{N/mm}^2$ 程度以下では、現状のJIS推定式の拡張が可能であると思われる。

(3)NおよびMの実験式は、N-37を除いて生コン採取との相関性が良く、精度良く推定が可能である。

今後、NおよびMを対象として、セメントの銘柄および使用骨材などの差異が温水養生強度に及ぼす影響について検討していく予定である。

#### 謝辞

本研究の実施にあたり、小山レミコン(株)埼玉工場、太平洋セメント(株)・我妻佳幸氏、山宗化学(株)技術部・高野肇博士ならびに小田新二君をはじめとしたものづくり大学建設技能工芸学科中田研究室の学生より多大なご協力を頂きました。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) 大塚秀三ほか：温水養生法による高強度コンクリートの圧縮強度の早期判定に関する一考察，コンクリート工学年次論文集，Vol.27，No.1，pp.1219-1224，2005
- 3) 小田新二ほか：温水養生法による各種セメントを用いた高強度コンクリートの早期判定に関する考察 - 前置き養生時間が温水養生強度に及ぼす影響 - 日本建築学会大会学術講演梗概集，A-1分冊，pp.351-352，2005