

4. まとめ

本研究では、RC造等建築物のコンクリート工事における型わくの取り外しに係わる管理方法の合理化とコンクリートの多様化への対応を目的とし、コンクリートの打ち込み時期、セメントや混和材等の結合材の種類、水結合材比、部材の種類およびせき板の存置期間を変化要因とし、「a.コンクリートの設計基準強度と実強度の関係に関する検討」、「b.コンクリートの型わくの取り外しにおけるセメント種類に関する区分の見直し」および「c.積算温度などを用いた強度推定法を型わくの取り外しに関する判定手法に用いることの実用性の検討」について実験的に検討した。

以下に、本研究における検討結果の要約と、型わくの取り外しに係わる管理方法と関連法令等の今後の課題について記す。

4.1 コンクリートの設計基準強度と実強度の関係について

標準養生、現場水中養生および現場封かん養生した各供試体の圧縮強度と柱、壁および床の各模擬部材から採取したコア供試体の圧縮強度との関係を図 4.1-1～図 4.1-3 に示す。

各種養生した供試体と各模擬部材から採取したコア供試体の圧縮強度の関係は、既往の研究^{1)、2)}と概ね同様の傾向を示した。模擬部材から採取したコア供試体の材齢 28 日の圧縮強度は現場水中養生した供試体の材齢 28 日の圧縮強度よりも全体的に低くなる傾向を示し、材齢 91 日のコア供試体の圧縮強度は現場水中養生した供試体の材齢 28 日の圧縮強度よりも若干高くなる傾向を示した。また、標準養生した供試体の材齢 28 日の圧縮強度は、模擬部材から採取したコア供試体の材齢 91 日の圧縮強度と概ね同等の強度を示した。

- 1) 佐藤幸恵、榎田佳寛：高強度コンクリートの構造体中での圧縮強度の変動、日本建築学会構造系論文集、第 562 号、pp.9-14、2002.12
- 2) 榎田佳寛、佐藤幸恵、友澤史紀：高強度コンクリートの構造体中での強度発現性と調合強度、日本建築学会構造系論文集、第 537 号、pp.13-20、2000.11

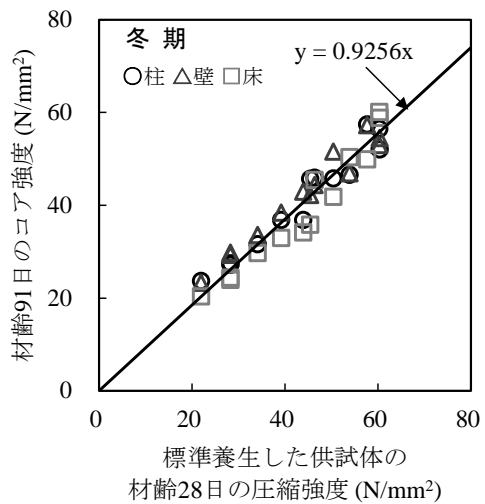
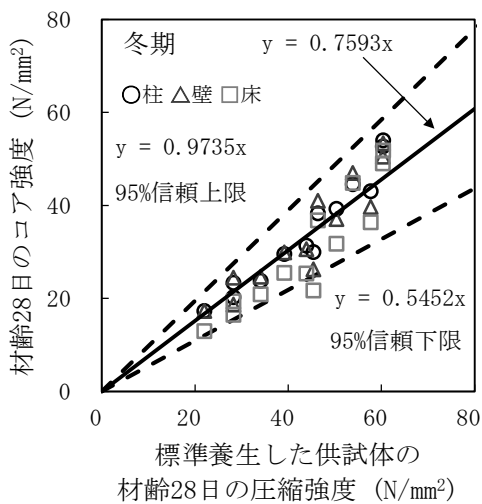
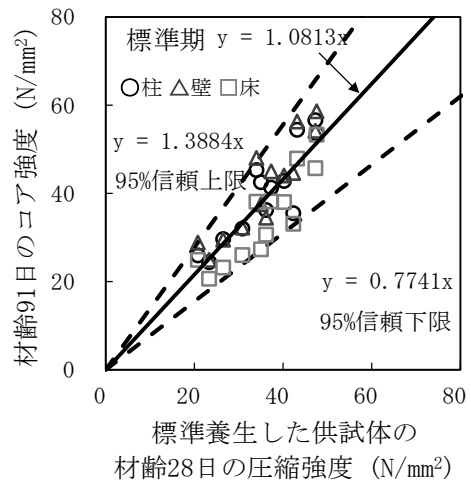
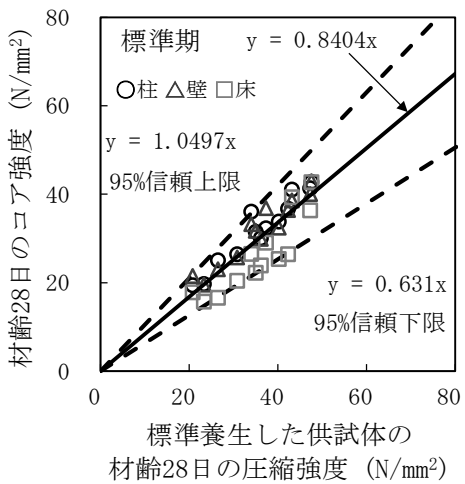
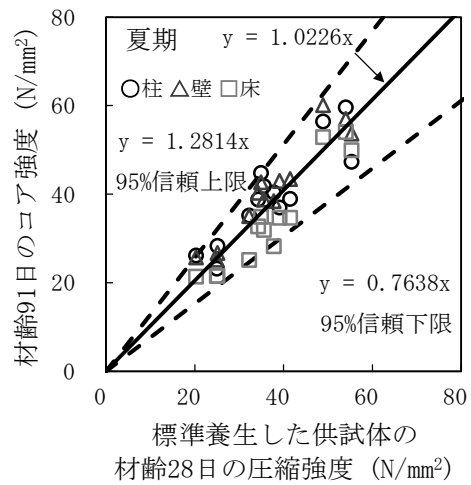
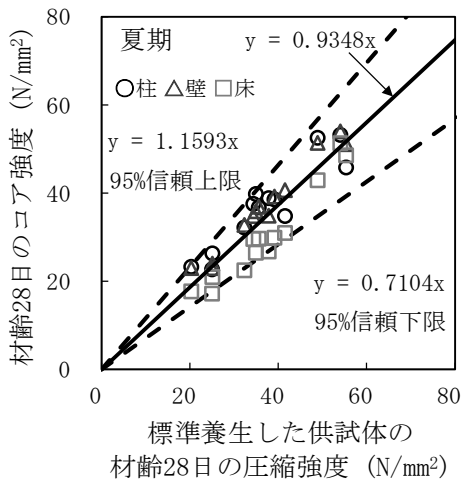


図 4.1-1 標準養生した供試体と模擬部材から採取したコア供試体の圧縮強度の関係

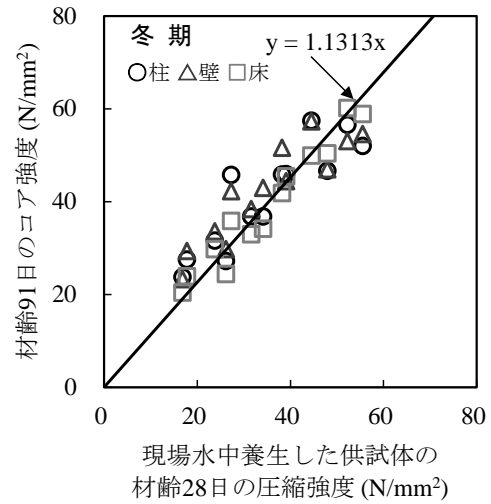
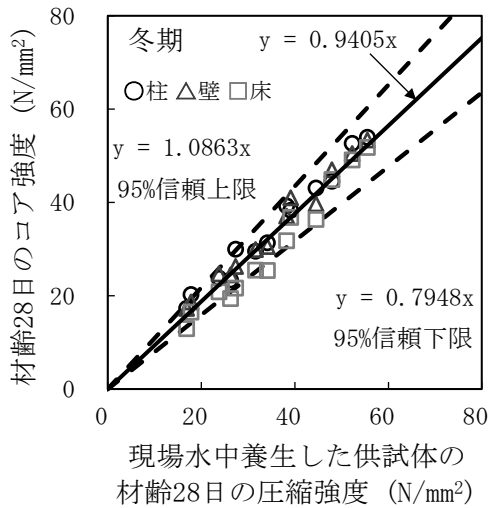
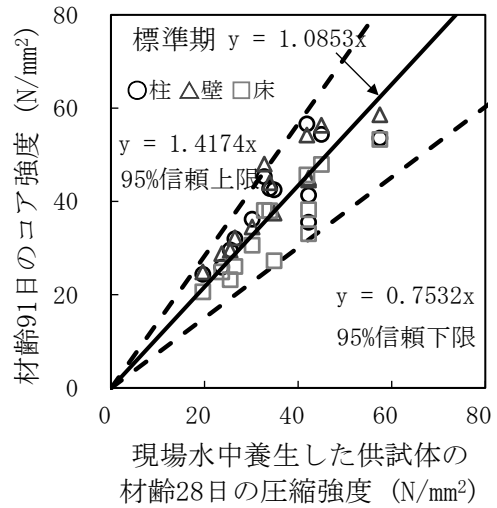
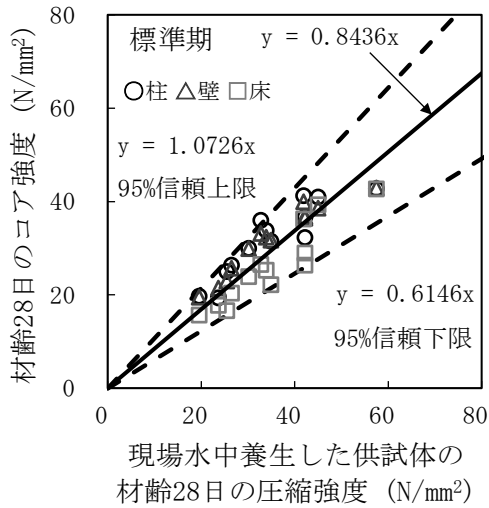
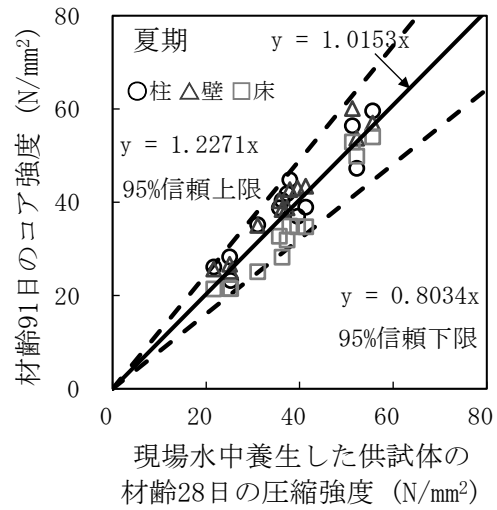
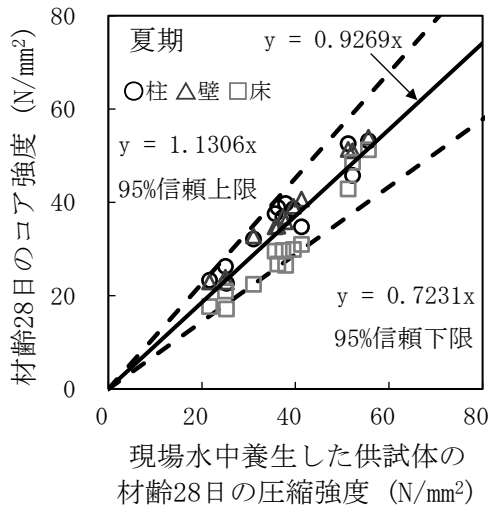


図 4.1-2 現場水中養生した供試体と模擬部材から採取したコア供試体の圧縮強度の関係

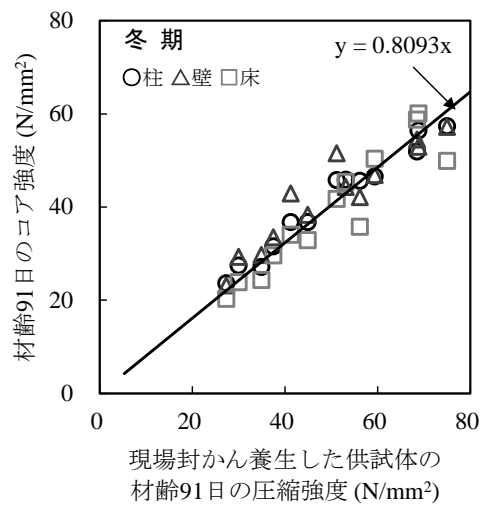
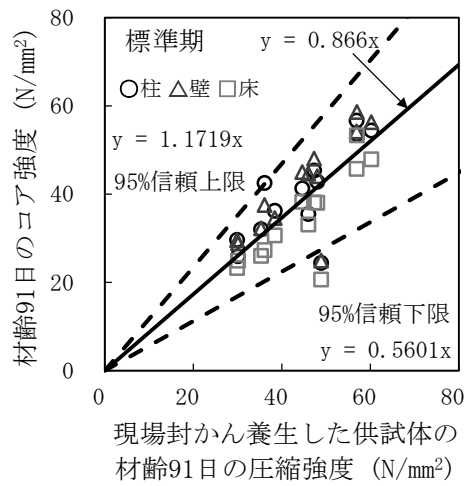
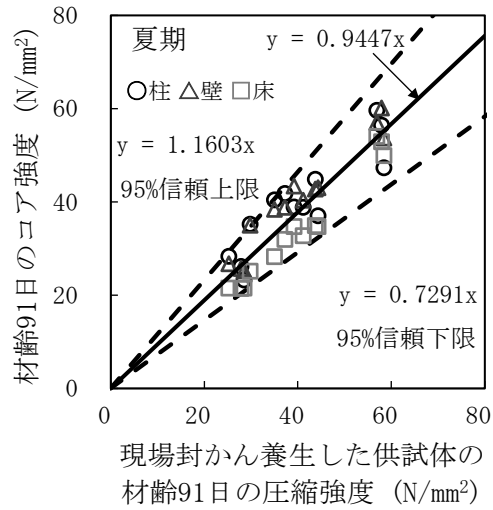


図 4.1-3 現場封かん養生した供試体と模擬部材から採取したコア供試体の圧縮強度の関係

4.2 コンクリートの型わくの取り外し時期におけるセメント種類に関する区分について

昭和46年建設省告示第110号（平成28年2月末現在）に規定される基準と実験結果一覧を表4.2-1～表4.2-3に示す。

- (1) 壁および床の模擬部材より採取したコア供試体の圧縮強度は、せき板の存置期間の延長に伴い材齢28日および91日の圧縮強度が大きくなる傾向が一部で見られるものの、全体的には明確な傾向は見られなかった。また、圧縮強度に 10N/mm^2 程度の差が見られるものもあったが、せき板の存置期間の影響とは考えにくく、ほとんどは 5N/mm^2 以下の差であった。
- (2) 模擬壁部材より採取したコア供試体の圧縮強度ならびに現場水中養生および現場封かん養生した供試体の圧縮強度が 5N/mm^2 に達する材齢は、存置期間の日数が規定されているN、N+BF⁽⁴⁵⁾（BB相当）およびN+FA⁽²⁰⁾（FB相当）において、打込み時期にかかわらず告示第110号で規定されている存置期間の日数より早くなる傾向が見られた。一方、告示第110号で規定されていないMおよびLでは、圧縮強度が 5N/mm^2 に達する材齢は、MがNとほぼ同等、Lについては冬期でNよりも遅れる傾向があるものの、夏期や標準期ではNと同等であった。また、N+BF⁽⁷⁰⁾、N+FA⁽³⁰⁾においては、夏期および標準期はそれぞれN+BF⁽⁴⁵⁾、N+FA⁽²⁰⁾と同等、冬期でやや遅れる傾向が見られた。
- (3) 模擬床部材より採取したコア供試体の圧縮強度ならびに各養生を行った供試体の圧縮強度が設計基準強度の50%以上に達する材齢は、告示第110号で存置期間が規定されているN、N+BF⁽⁴⁵⁾およびN+FA⁽²⁰⁾においては、打込み時期に関わらず告示第110号で規定されている存置期間よりも早くなる傾向が見られた。一方、同告示で規定されていないMおよびLでは、設計基準強度の50%以上に達する材齢は、MがNよりも1～2日程度遅く、Lは最も早いH・L37（夏期）で約6日、最も遅いS・L-47（標準期）の約18日となり、Nよりも大幅に遅くなる傾向にあった。なお、N+BF⁽⁷⁰⁾、N+FA⁽³⁰⁾においてはN+BF⁽⁴⁵⁾およびN+FA⁽²⁰⁾と同等の傾向が見られた。

表 4.2-1 告示第 110 号に規定される基準と本検討の結果一覧(夏期)

【存置期間中の平均気温：15℃以上(本検討：夏期)】

対象とする部材		模擬壁部材						模擬床部材					
結合材の種類	W/B (%)	告示第110号 第一項第一号 に規定される日数	せき板の存置期間 (網掛け部：5N/mm ² に到達する日数)						告示第110号 第一項第一号 に規定される日数	Fc×0.5 (N/mm ²)	せき板の存置期間 (網掛け部：Fc×0.5に到達する日数)		
			2日	3日	4日	7日	10日	14日			7日	14日	28日
N	37	2	33.2	-	40.2	42.9	44.5	-	6	25.0	38.6	41.3	49.9
	47		24.6	-	28.4	34.9	36.6	-			17.4	23.1	28.8
	60		13.1	-	15.6	17.1	18.5	-			10.8	12.3	14.3
M	37	-	29.7	-	37.7	42.0	44.8	-	-	-	41.2	46.6	52.9
	47		16.5	-	22.8	25.7	29.4	-			16.0	20.2	25.3
L	37	-	16.6	-	23.6	31.4	35.2	-	-	-	26.5	27.3	34.8
	47		10.0	-	15.8	20.2	25.1	-			17.5	14.6	21.0
N+BF ⁽⁴⁵⁾ (BB相当)	47	5	23.4	-	27.1	29.2	29.7	-	8	-	23.1	24.6	25.7
60	13.3		-	16.4	18.2	20.7	-	10.8			15.2	18.5	
N+BF ⁽⁷⁰⁾ (BC相当)	47	-	23.0	-	28.2	27.8	28.3	-	-	12.6	18.1	20.0	
N+FA ⁽²⁰⁾ (FB相当)	47	5	18.7	-	23.5	26.2	29.5	-	8	-	21.1	29.0	30.6
60	8.8		-	11.6	13.8	15.2	-	10.7			10.5	15.6	
N+FA ⁽³⁰⁾ (FC相当)	47	-	14.0	-	18.6	21.8	24.9	-	-	16.4	17.6	23.3	

※ Fc(設計基準強度)：【夏期、標準期】模擬床部材の全てのせき板存置期間における材齢91日のコア供試体の圧縮強度の平均値
【冬期】現場水中養生した供試体の材齢28日の圧縮強度

表 4.2-2 告示第 110 号に規定される基準と本検討の結果一覧(標準期)

【存置期間中の平均気温：15℃未満5℃以上(本検討：標準期)】

対象とする部材		模擬壁部材						模擬床部材					
結合材の種類	W/B (%)	告示第110号 第一項第一号 に規定される日数	せき板の存置期間 (網掛け部：5N/mm ² に到達する日数)						告示第110号 第一項第一号 に規定される日数	Fc×0.5 (N/mm ²)	せき板の存置期間 (網掛け部：Fc×0.5に到達する日数)		
			2日	3日	4日	7日	10日	14日			7日	14日	28日
N	37	5	32.5	-	39.5	41.6	42.4	-	10	26.7	41.1	41.2	44.3
	47		21.1	-	27.7	30.4	29.9	-			19.1	25.9	21.0
	60		9.7	-	14.7	16.7	18.3	-			12.5	14.3	14.8
M	37	-	20.7	-	28.5	31.8	36.1	-	-	-	33.0	38.1	39.4
	47		13.9	-	20.6	24.2	27.3	-			19.1	22.1	25.7
L	37	-	10.8	-	16.8	23.4	27.1	-	-	-	22.9	20.5	24.6
	47		7.4	-	12.2	15.8	20.3	-			19.0	12.5	16.1
N+BF ⁽⁴⁵⁾ (BB相当)	47	7	15.6	-	22.8	25.9	28.1	-	12	-	19.1	25.7	26.8
60	8.3		-	11.2	14.8	16.1	-	11.6			11.2	14.4	
N+BF ⁽⁷⁰⁾ (BC相当)	47	-	10.6	-	19.1	23.9	22.9	-	-	13.7	16.6	21.3	
N+FA ⁽²⁰⁾ (FB相当)	47	7	12.3	-	17.4	21.5	22.2	-	12	-	18.8	17.5	24.4
60	7.4		-	10.5	13.7	15.0	-	10.3			11.0	12.1	
N+FA ⁽³⁰⁾ (FC相当)	47	-	10.8	-	14.4	18.2	19.3	-	-	13.0	15.1	13.1	

※ Fc(設計基準強度)：【夏期、標準期】模擬床部材の全てのせき板存置期間における材齢91日のコア供試体の圧縮強度の平均値
【冬期】現場水中養生した供試体の材齢28日の圧縮強度

表 4.2-3 告示第 110 号に規定される基準と本検討の結果一覧(冬期)

【存置期間中の平均気温：5℃未満(本検討：冬期)】

対象とする部材		模擬壁部材						模擬床部材					
結合材の種類	W/B (%)	告示第110号 第一項第一号 に規定される日数	せき板の存置期間 (網掛け部：5N/mm ² に到達する日数)						告示第110号 第一項第一号 に規定される日数	Fc×0.5 (N/mm ²)	せき板の存置期間 (網掛け部：Fc×0.5に到達する日数)		
			2日	3日	4日	7日	10日	14日			7日	14日	28日
N	37	8	18.7	-	30.6	35.9	42.4	-	16	27.8	34.9	43.7	50.7
	47		13.1	-	23.6	31.6	34.8	-			24.0	27.3	36.6
	60		5.4	-	9.5	13.1	16.5	-			13.1	9.7	14.9
M	37	-	14.5	-	25.0	30.0	34.2	-	-	-	29.6	38.0	46.6
	47		7.8	-	16.2	20.8	25.7	-			19.6	19.2	27.2
L	37	-	-	11.9	14.2	19.0	22.8	-	-	-	16.5	25.7	36.2
	47		-	6.4	7.9	10.7	13.8	-			13.7	8.3	15.0
N+BF ⁽⁴⁵⁾ (BB相当)	47	10	-	-	8.4	14.6	19.4	25.5	18	-	11.8	25.5	33.5
60	-		-	2.4	4.9	8.0	11.4	8.9			4.7	10.5	
N+BF ⁽⁷⁰⁾ (BC相当)	47	-	-	-	4.7	9.9	16.3	23.0	-	17.1	8.5	18.9	
N+FA ⁽²⁰⁾ (FB相当)	47	10	-	-	10.7	17.5	22.0	25.7	18	-	14.1	20.3	26.8
60	-		-	4.7	7.9	10.9	13.5	8.4			6.4	10.3	
N+FA ⁽³⁰⁾ (FC相当)	47	-	-	-	8.1	13.4	16.6	19.2	-	11.9	11.1	16.4	

※ Fc(設計基準強度)：【夏期、標準期】模擬床部材の全てのせき板存置期間における材齢91日のコア供試体の圧縮強度の平均値
【冬期】現場水中養生した供試体の材齢28日の圧縮強度

4.3 積算温度などを用いた強度推定法を型わくの取り外しに関する判定手法に用いることの実用性について

4.3.1 各測定対象および測定位置における積算温度の算出

打込み時期が夏期および標準期における積算温度は、部材の種類にかかわらずおおそ[躯体温度] > [躯体表面温度] > [供試体温度] > [外気温] より算出した順で小さくなる傾向にあった。冬期は、供試体温度より算出した場合が大きくなる傾向が認められた。また、一部の混合セメントを除いて夏期や標準期と同様に、外気温より算出した場合が最も小さかった。

4.3.2 積算温度と圧縮強度または圧縮強度比の関係

(1) 積算温度を躯体温度、躯体表面温度、供試体温度および外気温により算出したいずれの場合においても、同調合の場合には、部材の種類にかかわらず積算温度と圧縮強度との間に相関が認められた。よって、せき板の取り外し時期は、部材の種類にかかわらず積算温度を用いて管理することが可能と考えられる。

(2) 積算温度と圧縮強度との間に相関が認められたが、せき板の取り外しを積算温度により管理する場合には、事前にコンクリートの調合毎に積算温度と圧縮強度の関係を明確にしておく事が必要になることから、本研究では、「材齢 28 日のコア供試体の圧縮強度」に対する「各材齢 (2 日～14 日) のコア供試体の圧縮強度」の比 (以下、28 日強度に対する比率) と積算温度の関係について検討を行った。躯体温度、躯体表面温度、供試体温度および外気温を基に算出した積算温度は、いずれの場合もコンクリートの調合や部材の種類にかかわらず同じ結合材 (セメント+混和材) を使用したコンクリートでは、積算温度と 28 日強度に対する比率との間に相関が認められた。

よって、結合材の種類およびセメントとの組み合わせ毎に材齢 28 日強度に対するせき板の取り外しに必要な強度の比を決定すれば、コンクリートの調合や部材の種類に関係なく積算温度を用いて型わくの取り外し時期を管理する事が可能と考えられる。

(3) 若材齢時にせき板を取り外すことの多い柱部材および壁部材を対象に、「標準養生した供試体の材齢 7 日の圧縮強度」に対する「各材齢のコア供試体の圧縮強度」の比 (以下、7 日強度に対する比率) と積算温度の関係について検討を行った。躯体温度、躯体表面温度、供試体温度および外気温を基に算出した積算温度は、いずれの場合もコンクリートの調合や壁、柱の部位に関係なく同じ結合材を用いたコンクリートでは、積算温度と 7 日強度に対する比率との間に相関が認められた。

よって、(2)と同様に、結合材の種類およびセメントとの組み合わせ毎に材齢 7 日の標準養生供試体に対するせき板の取り外しに必要な強度の比を決定すれば、調合や壁、柱の部位に関係なく積算温度を用いて取り外し時期の管理をすることが可能と考えられる。

4.3.3 有効材齢と圧縮強度の関係

有効材齢とコア供試体の圧縮強度の関係は、打込み時期や部材の種類にかかわらず有効材齢を用いた既往の強度推定式による強度成長曲線に沿って分布する傾向を示した。模擬床部材において、有効材齢から推定した圧縮強度とコア供試体の圧縮強度との関係は、躯体温度、躯体表面温度、供試体温度および外気温により算出したいずれの場合も、推定強度はコア供試体の圧縮強度より大きくなる場合が多く、危険側に評価される傾向が確認された。一方、模擬壁部材および模擬柱部材については、躯体温度、躯体表面温度、供試体温度および外気温を基に算出したいずれの場合も、一部の水準を除き推定強度はコア供試体の圧縮強度とほぼ同等、あるいは小さくなる傾向があり、安全側に評価される傾向が確認された。

4.4 型わくの取り外しに係わる関連法令について

これまでの実験による検討結果から、型わくの取り外しに係わる管理方法として次のことが考えられる。

4.4.1 コンクリートの型わくの取り外しに係わる基準

告示第 110 号によるせき板の存置日数とコンクリートの圧縮強度との関係について、本研究の範囲では、圧縮強度の基準を満足する材齢が告示第 110 号に定められた存置日数に比べて早くなる事が確認され、存置日数の基準は十分安全側に定められているが、必ずしも、現在のコンクリート工事の状況に適切に対応しているとは言い難い。一方、構造体コンクリートの圧縮強度が型わくの取り外し時に所要の強度に達したことの確認方法としては、既存のコア供試体やこれに類似した強度特性を有する供試体の圧縮強度による確認方法と、それ以外の方法として、標準養生した供試体の圧縮強度から推定する方法や、コンクリート表面の履歴温度に基づく積算温度などから推定する方法の妥当性が実験結果から確認された。

4.4.2 履歴温度に基づく型わく及び支柱の取りはずしに係わる基準

積算温度に基づいて型わくおよび支柱の取外しを行う場合には、セメントの種類ごと、コンクリートの調合ごとに実験を行って、事前に積算温度とコンクリートの強度との関係式を得ておく必要がある。ここで、セメントの種類とコンクリートの調合とが決まれば、コンクリートの調合強度は概ね決定できるため、実用的には、セメントの種類およびコンクリートの呼び強度の情報を得ておけばよいと考えられる。したがって、積算温度に基づいて型わくおよび支柱の取外しを行う場合、工事現場において、セメントの種類およびコンクリートの呼び強度を情報として得た後、気温またはコンクリートの温度の時間変化を測定し、その結果に基づき積算温度を算出し、予め得ておいた積算温度とコンクリートの強度との関係式から構造体コンクリートの強度を推定し、その結果に基づいて型わくおよび支柱の取外しを行うこととなる。

一方、有効材齢に基づいて型わくおよび支柱の取外しを行う場合には、セメントの種類ごとに実験を行って、有効材齢とコンクリートの強度との関係式を事前に得ておく必要がある。ただし、有効材齢に基づく場合には、セメントの種類が同じであれば、コンクリートの調合（すなわち、強度）が異なっても、材齢の増加に伴う強度の発現形状は相似的に変わるだけであるため、最初に、セメント生産者から提供される試験成績書（材齢 3 日、7 日、28 日の圧縮強さ試験結果）を基にセメントの種類に応じた関係式を得ておけば、必要な情報は呼び強度だけでよい。よって、有効材齢に基づいて型わくおよび支柱の取外しを行う場合、工事現場において、セメントの種類およびコンクリートの呼び強度を情報として得た後、コンクリートの温度の時間変化を測定し、その結果に基づき有効材齢を算出し、予め得ておいた有効材齢とコンクリート強度との関係式から構造体コンクリートの強度を推定し、その結果に基づいて型わくおよび支柱の取外しを行うこととなる。

また、本研究の範囲内ではあるが、有効材齢に基づく場合には、有効材齢が建設省告示第 110 号に定められた 15 日以上における所要日数に達した場合にも、型わくおよび支柱の取外しを行う事が可能であるが、この場合、型わくおよび支柱の取外し材齢は強度予測に基づく場合よりも一般的には遅くなる。そのため、有効材齢に基づいて型わくおよび支柱の取外しを行う場合、実際の工事現場では、推定した強度に基づく方法が適当と考えられる。

なお、支柱の取外し時期の決定をコンクリートの強度に基づいて行う場合については、次のような問題点もあるため、今後さらなる検討が必要である。スラブの上面は型わくが設置されていないため、コンクリート上面から水分が蒸発し、セメントの水和に必要な水分が十分に確保されないため、圧縮

強度の発現速度が遅くなる。一方、積算温度や有効材齢に基づいて推定される圧縮強度は、セメントの水和に必要な水分が十分に確保されていることが条件である。また、供試体の強度試験も、セメントの水和に必要な水分が十分に確保できる条件の下で養生された供試体について行われている。したがって、積算温度および有効材齢から推定した構造体コンクリートの強度に基づいて支柱の取外しを行う場合に限らず、供試体の強度試験の結果に基づいて支柱の取外しを行う場合にも同様に言えることで、支柱の取外し時期の決定を構造体コンクリートの強度に基づいて行う場合については、構造体コンクリートの強度の評価方法と構造体の養生期間について今後検討する必要があると言える。