

5. 構造体コンクリートの強度管理に関する研究 (その1. コンクリートブロックを用いた実験)

山崎 順二
立松 和彦
福本 昇

要 旨

本研究は、普通強度のコンクリートおよび高強度コンクリートに適用可能な、構造体コンクリートの強度管理手法を確立することを目的としている。今回の実験は、呼び強度400以下のものを対象とし、コンクリートブロック供試体のコア強度（構造体コンクリートの強度）と、強度管理用供試体の圧縮強度および非破壊試験による推定強度との関係を把握するために行ったものである。実験の結果、強度管理用供試体では現場封緘養生を行った供試体の強度が、また非破壊試験では複合法による推定強度が、構造体コンクリートの強度を知るために有効であることが分かった。

キーワード

強度発現性／温度履歴／圧縮強度／コア強度／標準養生／現場封緘養生／非破壊試験／
反発度法／複合法

目 次

1. はじめに
2. 実験概要
3. 実験結果および考察
4. ま と め

5. STUDY ON STRENGTH CONTROL OF STRUCTURAL CONCRETE (Part 1 : Testing with Concrete Blocks)

Junji Yamasaki
Kazuhiko Tatematsu
Noboru Fukumoto

Abstract

This study aims at establishing a method of strength control for structural concrete applicable to normal strength concrete and high strength concrete. The object of the tests was nominal strength 400 or less for the purpose of establishing relationship between the core strength of concrete block samples (strength of structural concrete), compressive strength of samples for strength control and estimated strength by non-destructive tests. The tests have demonstrated that the strength of a sample, which underwent field sealed curing, among samples for strength control was effective while the estimated strength by the combined methods of non-destructive tests was effective in determining the strength of structural concrete.

1. はじめに

最近の鉄筋コンクリート技術の発展により、高層RCマンションや構造物の大規模化が実現され、それに伴って構造体コンクリートも高強度化されてきている。高強度コンクリートは、単位セメント量が多くなるために部材内部での打ち込み直後の温度上昇が大きくなり、その結果強度発現に影響を与えられと考えられる。そのため、高強度コンクリートを構造体コンクリートとして使用する場合には、コンクリートの強度管理に十分な注意が必要となる。

施工中の建物の場合、コンクリート打設時に採取した円柱供試体を用いて強度の管理を行うが、構造体コンクリートと強度管理用供試体とは、寸法・形状はもとより養生条件や施工条件が異なるため、それらの圧縮強度は正確に対応していないと思われる。

現在、普通強度のコンクリートについては、構造体の温度履歴を外気温の履歴とみなしても強度管理上安全側にあるという判断のもとで、現場水中養生供試体の圧縮強度が構造体コンクリートの強度を代表する値として扱われている。¹⁾しかしセメント量の多い高強度コンクリートの場合は、硬化初期に高温履歴を受けるために長期的な強度の伸びがあまり期待できなくなり、従来の現場水中養生による強度管理手法では、構造体コンクリートの強度を実際より大きく判定してしまう恐れがある。

一方、構造体からコアを採取してコンクリートの強度を確認する方法があるが、構造物によってはコア採取が制限されたり、また不可能であったりするために、この方法は採用されないことが多い。

以上のことから、強度管理用供試体の圧縮試験とコンクリートの非破壊試験を併用して構造体コンクリートの強度を正確に把握することが、コンクリートの強度管理を行う上で有効な手法であると考えられる。

そこで本研究は、コンクリートの圧縮試験と非破壊試験を併用することにより、構造体コンクリートの強度と強度管理用供試体の強度、および構造体コンクリートの強度と推定強度の関係を明確にし、普通強度のコンクリートおよび高強度コンクリートに適用できる強度管理手法を確立することを目的として行われた。本報はその第一ステップとして、呼び強度210～400の範囲のコンクリートブロックを用いて行った各種の実験結果について報告するものである。

2. 実験概要

2.1 供試体の作製および養生

コンクリートの供試体の種類を表-1に示す。これらの調合は水セメント比35～60%、細骨材率33.5～45.6%の範囲のものである。コンクリートブロック供試体の大きさは600×600×900mmとし、それぞれ2体ずつ作製した。2体のうち1体はコンクリートの内部温度測定に、もう1体は非破壊試験およびコア採取に使用した。また強度管理用供試体はφ100×200mmの円柱供試体とし、JIS A 1132に準じて作製した。

コンクリートは生コンプラントの実機において1m³練り混ぜ、アジテータ車に積み込んだ。その後30分以内に、コンクリートを2層に分けて打ち込み、棒状バイブレータとタンピングにより十分に締め固めた。

打ち込み後、コンクリートブロック供試体は屋外にて気中養生を行い、約2週間後に脱型した。強度管理用供試体の養生方法は、標準養生・現場封緘養生（供試体上面を打ち込み直後にビニールで封をする）・現場気中養生（材齢1日で脱型）・温度追従養生（打ち込み後すぐに温度追従養生槽に入れる）・簡易断熱養生（打ち込み後すぐに上面をビニールで覆い断熱養生箱に入れる）の5種類とした。

2.2 試験方法

フレッシュコンクリートの試験は、スランプ・空気量・コンクリート温度とし、それぞれ JIS A 1101・

表-1 コンクリート供試体の種類

調査記号	供試体打設日	W/C	s/a
210-15-20N	'94/08/22	60.0	45.6
350-18-20N	'94/07/14	41.0	44.0
400-18-20N	'94/09/13	35.0	33.5
210-15-20BB	'94/05/25	59.0	45.2

表-2 強度管理用供試体の試験材齢

養生方法	試 験 材 齢					
	1日	3日	7日	14日	28日	56・91日
標準養生	○	○	○	○	○	○
現場封緘	○	○	○	○	○	○
現場気中		○	○	○	○	○
簡易断熱			○		○	
温度追従		○	○		○	

JIS A 1128に準じて行った。コンクリートブロック供試体の内部温度の測定については、高さ450mmの位置の中央部・側面・コーナー（計3点）に熱電対を埋め込み、材齢2週まで継続して行った。

強度管理用供試体の圧縮強度試験は、JIS A 1108に準じて表-2に示す材齢で行った。なお各材齢における強度試験の本数は、1つの試料につき3本とした。

コンクリートの非破壊試験およびコア採取は、材齢4・8・13週においてコンクリートブロック供試体の上下2カ所で行った。なおコア供試体は、長さ600mmのものを3等分して作製した。

3. 実験結果および考察

3.1 フレッシュコンクリートの性状

フレッシュコンクリートの試験結果を表-3に示す。コンクリートの打設時期に関係なく、スランプは各設定値に対して±2cm程度、空気量は設定値4.5%に対して±1.5%程度の変動があった。いずれの調査においてもコンクリート自体に極端な分離は認められず、良好な状態であった。

3.2 コンクリートの温度履歴

コンクリートブロック供試体の中央部の温度履歴曲線を図-1に、各部位の温度測定値を表-4に示す。

普通セメントを使用した場合、呼び強度によってコンクリートの最高温度に差はあるものの、各部位が最高温度に到達する時間については、大きな差が認められなかった。またコンクリートの温度上昇量は、単位セメント量が多くなる（呼び強度が大きくなる）ほど大きくなった。打設時期が影響を及ぼしていることも考えられるが、普通セメントと比べて水和発熱量の小さい高炉セメントを用いたものが、最高温度・温度勾配とも最も小さい値となった。

3.3 圧縮強度試験結果

(1) 強度管理用供試体の強度発現性状

各々の養生方法における圧縮強度比（標準養生4週強度に対する比）と材齢の関係を図-2に示す。

普通セメントを用いた供試体については、材齢初期における強度比に大きな差はなかったが、気中養生供試体の強度比は、いずれの調査においても材齢2週以後大きく低下している。これは、供試体表面から水分が蒸発してセメントの水和反応が妨げられたためであると考えられる。封緘養生の供試体については、水分は蒸発しないので気中養生の場合ほど強度が低下する

表-3 フレッシュコンクリートの試験結果

調査記号	スランプ cm	空気量 %	C T ℃
210-15-20N	13.0	5.1	30.6
350-18-20N	18.0	3.3	36.0
400-18-20N	14.0	5.8	31.0
210-15-20BB	20.0	4.4	26.0

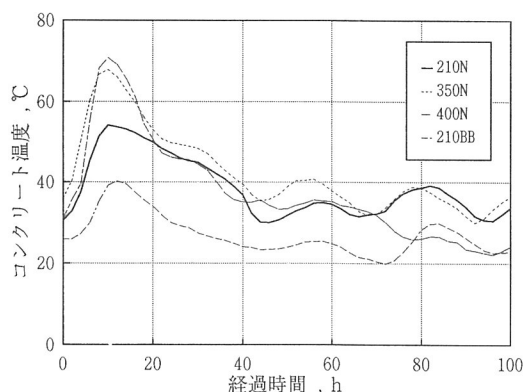


図-1 コンクリート中央部の温度履歴

表-4 コンクリートの温度測定値

調査名	部位	打設時 温度	最高 温度	上昇 温度	到達 時間	外気温
210-15-20N	中央	35.2	54.2	19.0	9	33.1
	側面	35.1	45.4	10.3	10	
	コーナー	35.4	41.6	6.2	7	
350-18-20N	中央	39.6	67.9	28.3	9	36.9
	側面	39.1	51.5	12.4	8	
	コーナー	39.5	44.6	5.1	4	
400-18-20N	中央	31.3	71.9	40.6	10	28.5
	側面	31.0	48.4	17.4	7	
	コーナー	31.4	44.7	13.3	6	
210-15-20BB	中央	26.0	40.3	14.3	11	26.0
	側面	28.0	34.2	7.0	8	
	コーナー	29.0	32.8	4.2	7	

ことはないが、外部から水が供給されないために、標準養生の供試体よりも強度比が小さくなっている。

高炉セメントを用いたものについては、セメントの水和速度が普通セメントに比べて遅くなるために、同じ呼び強度で普通セメントを用いた調査の供試体よりも強度発現が遅く、かつ長期強度の伸びが大きくなっている。

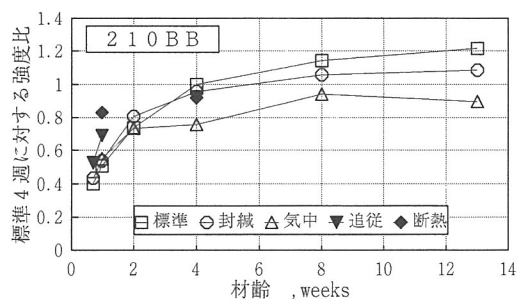
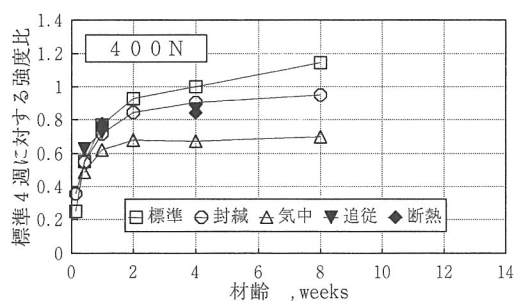
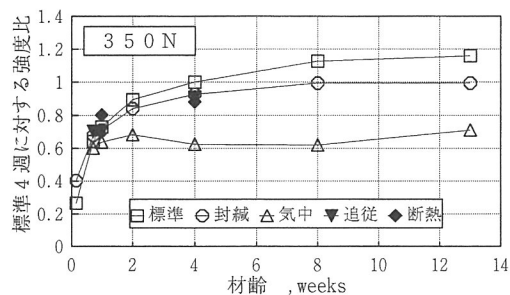
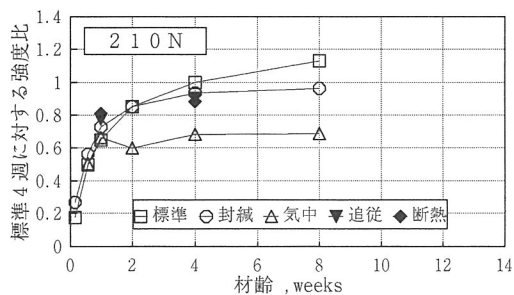


図-2 各種養生法での圧縮強度比と材齢の関係

また簡易断熱養生した供試体は、打設直後から高温環境下に静置されるので初期強度は大きくなっているが、4週強度では現場封緘養生と同程度となり、長期強度の増進が小さくなる傾向にある。

(2) コンクリートコア供試体の強度発現性状

コンクリートコア採取位置とコア強度比（標準養生

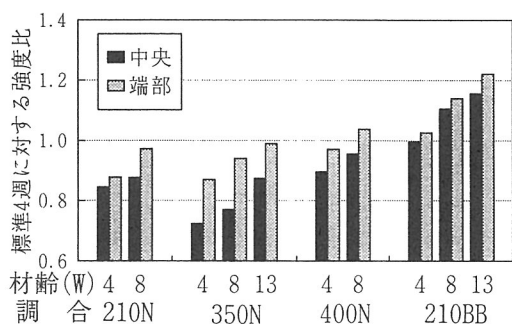


図-3 コア採取位置とコア強度比の関係

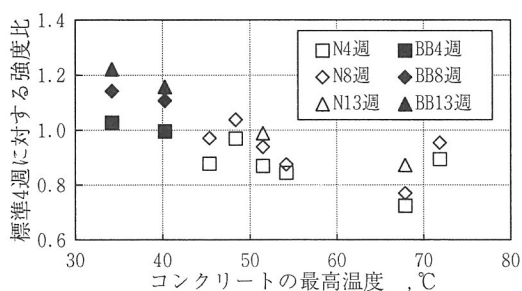


図-4 コンクリートブロックの最高温度とコア強度比の関係

4週強度に対するコア強度の比) の関係を図-3に示す。

すべての調合において、中央部のコア強度より端部のコア強度の方が大きくなっている。中央部のコア供試体は、セメントの水和発熱によって端部の供試体より長期間高温に保たれるため、強度発現性が低下したと思われる。

材齢4・8・13週における、コンクリートブロック供試体の最高温度とコア強度比の関係を図-4に示す。

コンクリートブロック供試体の最高温度が高くなるにつれて、いずれの材齢においてもコア強度比が低下している。また長期強度の増進についても、最高温度が高くなるほど小さくなる傾向にある。これは、硬化初期に受ける温度が高いほど、コンクリートの強度発現性や長期的な強度増進に大きな影響を与えるということを示している。

これらより、コンクリートの強度発現性状に影響を及ぼすものとしては、硬化初期に受ける温度の影響が特に大きいと考えられ、より高い温度履歴を受けたコンクリートほど、初期強度は大きくなる反面、長期強度の伸びは小さくなると考えられる。

3.4 強度管理用供試体の強度とコア強度の関係

標準養生・現場封緘養生・気中養生の各圧縮強度とコア強度との関係を図-5に、現場封緘養生と現場気中養生を行った強度管理用供試体の強度比（標準養生4週強度に対する強度の比）とコア強度比の関係を図-6および図-7に示す。

呼び強度400以上のコンクリートに関する既往の研究結果によると、現場水中養生を行った場合、コンクリートの打設時期により構造体コンクリートと養生水温の差が大きくなり、その結果強度のばらつきも大きくなる傾向にあるが、現場封緘養生の場合はそれらの温度差も小さくなるのでばらつきも小さく、かつ構造体コンクリートの強度と管理用供試体の強度値も比較的良好に対応しているようである。^{2) 3)}

今回の呼び強度210～400の範囲のコンクリートにおいても、現場封緘養生を行った供試体の強度比は、コア強度比の約90～110%の範囲にあり、既往の研究結果とよく似た傾向であった。コア強度比との関係だけを見た場合、封緘養生よりも気中養生の方が良い相関関係が得られており、この供試体を用いて強度管理を行うこともできるが、気中養生の場合は長期的な強度発現性に問題があるため、さらにデータを蓄積し検討することが必要と思われる。

これより、現場封緘養生供試体を構造体コンクリートの強度管理用供試体として使用することは、養生方法も簡単であり、かつ構造体コンクリートの強度と比較的良好に対応しているので、有用であると思われる。

3.5 非破壊試験によるコンクリート強度の推定

コンクリートの非破壊試験を行うことにより構造体コンクリートの強度を推定することができる。この試験を強度管理用供試体の圧縮試験と併用することにより、強度管理の精度が向上すると考えられる。そこで今回は、反発度法と超音波法およびそれらをを組み合わせた複合法について検討を行った。

図-8に反発度とコア強度の関係を示す。図中の回帰直線の他に、材料学会式⁴⁾ 建築学会実験式⁴⁾を、また別途に行った実験でのコンクリート(長期材齢)の試験結果も併せて記入した。十代田らによる研究結果⁵⁾と同様に今回の実験結果においても、建築学会実験式では構造体コンクリートの強度よりも推定強度の方が大きくなり、逆に材料学会式では推定強度の方が小さくなった。

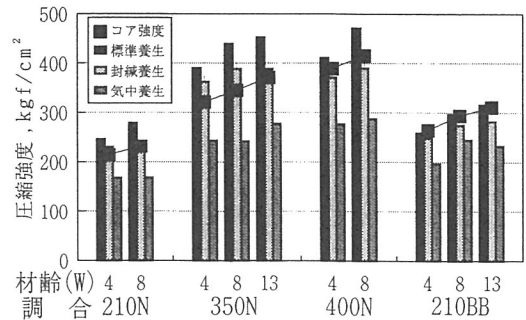


図-5 各種養生法での圧縮強度とコア強度の関係

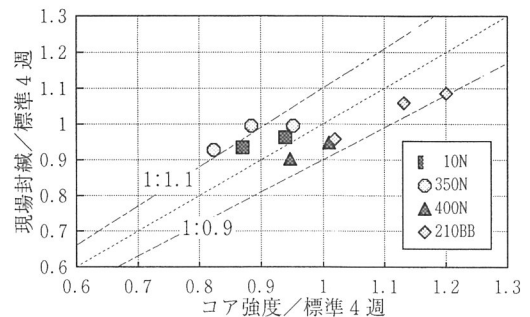


図-6 封緘強度比とコア強度比の関係

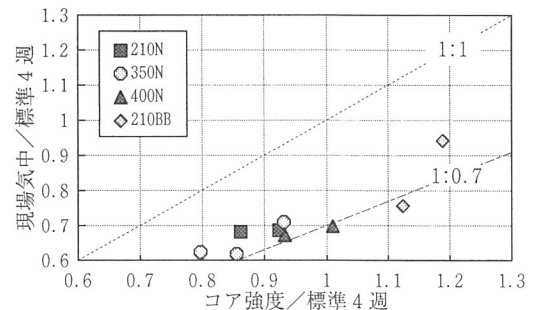


図-7 気中強度比とコア強度比の関係

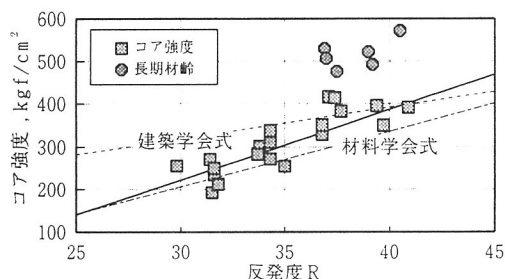
また長期材齢を経たコンクリートの強度は、強度推定値よりもかなり大きい値を有した。

図-9に超音波法による音速とコア強度の関係を示す。今回の結果からは、構造体コンクリートの強度が大きくなる（音速が大きくなる）ほど推定強度が小さくなる傾向にあった。これより、建築学会式を用いて強度推定を行う場合は、高強度になるほど推定精度が低下すると思われる。

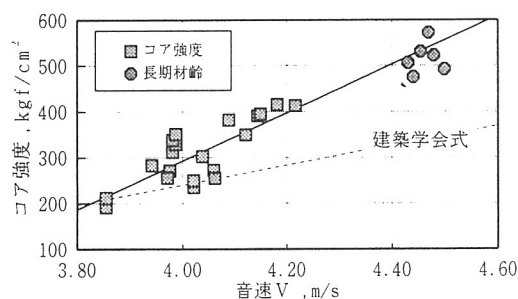
図-10に複合法での推定強度とコア強度の関係を示

す。図中に示す回帰直線の相関係数は0.907、標準誤差は34.5であった。この図より、推定強度は構造体コンクリートの強度よりもやや低めであり、安全側の値を示した。また構造体コンクリートの強度が大きくなるほど推定強度は小さくなる傾向にある。今回の実験の範囲内では、呼び強度350程度までであれば、ほぼ正確に強度が推定できると考えられる。

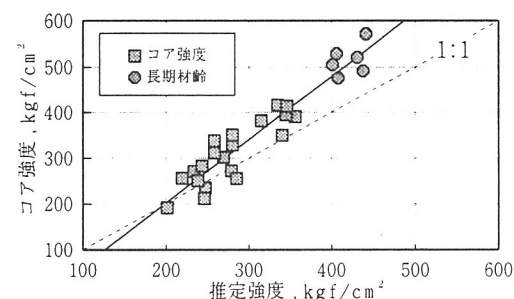
これらの結果から、非破壊試験によって構造体コンクリートの強度を推定する場合は、複合法を採用することによって構造体コンクリートの強度をほぼ正確に推定できることがわかった。



図－8 反発度とコア強度の関係



図－9 音速とコア強度の関係



図－10 複合法による推定強度とコア強度の関係

4. まとめ

呼び強度210～400までのコンクリートブロック供試体を用いて行った実験の結果、以下のようなことが確認できた。

- 1) 構造体コンクリートは、硬化初期に高温履歴を受けることにより長期強度の増加が期待できなくなり、コンクリートの最高温度が高くなるほどその傾向が顕著となる。
- 2) 今回の実験の範囲内では、構造体コンクリートの強度管理用供試体の養生法として現場封緘養生を行うことが、養生も簡単でかつ構造体コンクリートの強度と良好な関係にあるので、有効な養生法であるといえる。
- 3) 非破壊試験（複合法）を採用することにより、構造体コンクリートの強度をほぼ正確に推定することができる。

今後、高強度コンクリートに関するデータを蓄積し、普通強度のコンクリートおよび高強度コンクリートに適用できる構造体コンクリートの強度管理手法を確立するために、更なる検討を行う予定である。

<参考文献>

- 1) 日本建築学会、「高強度コンクリートの技術の現状」丸善、(1991)、pp.161～171
- 2) 建築業協会、「高強度コンクリート分科会報告書」国土開発技術研究センター、(1991)、pp4-18
- 3) 新屋栄一他、「高強度コンクリートを用いた構造体コンクリートの強度発現性に関する実験(その3)」、日本建築学会大会学術講演梗概集 (1990)、pp577～578
- 4) 日本建築学会、「コンクリートの強度推定のための非破壊試験方法マニュアル」、(1983)、p.25
- 5) 十代田知三他、「実大モデルによる超音波法、反発度法および複合法の検討」、日本建築学会構造系論文報告集、(1991.10)、pp25～33
- 6) 佐藤勝彦他、「非破壊試験による構造体コンクリート強度の推定」、日本建築学会大会学術講演梗概集 (1994)、pp675～676