

非破壊試験方法によるコンクリート強度の推定

III. 打込み方向、養生・締固め効果とマスコンクリートの強度特性

服部九二雄*・森井俊広*

平成7年6月23日受付

An Estimation of Concrete Strength by Non-Destructive Methods

III. Influences of Placing, Curing and Compaction on Massconcrete Strength

Kunio HATTORI* and Toshihiro MORII*

The design of a concrete structure is based on the compressive strength of cylindrical test pieces with the height to diameter ratio to 2.0 which are cured in water with 20 °C for 28 days. But the curing condition, the compaction condition and the size between the concrete in structures and cylindrical test pieces have big differences. As a result, the strength development of both concretes is not the same in the short-term and long-term ages.

In this experiment the strength and density of the cores from four massconcrete test pieces with 70×40×20 cm were compared with those of the cylindrical standard test pieces. To make clear the difference of the strength development, we measured the following factors; temperature inside the massconcrete, ultrasonic velocity and compressive strength of the cores from massconcrete and cylindrical test pieces. The results obtained were as follows ;

① The time which the temperature inside a massconcrete requires to reach to the maximum is not influenced so much by the curing condition.

② The thick concrete element such as the massconcrete test piece with height 70 cm, has the low strength in an upper part and the depth of its part is about 10 cm, because this part has much capillary pores and water paths by means of bleeding. This difference of strength does not disappear with the lapse of curing age.

ま え が き

コンクリート構造物の強度は、構造物の部材を構成しているコンクリートが設計基準強度を満たしているかどうか強度試験をすることで判定されてきている。この判定方法には、コンクリート打設時に並行して作製した標

準供試体を用いる方法と、構造物から抜取ったコアを用いる方法とがある。しかし、両者は、締固め条件、養生条件や部材の大きさなどが異なるため、同じ材令でも強度や密度などの試験値に違いが生じる。

そこで、構造物コンクリートとほぼ同じサイズとなるようなマスコンクリート（以下マスコンと呼ぶ）を数体

* 鳥取大学農学部農林総合科学科生産環境工学講座

* Department of Agricultural Engineering, Faculty of Agriculture, Tottori University

打設し、それらと並行して作製した標準供試体とほぼ同じ条件で養生し、両者の強度発現の違いに及ぼす養生効果、打込み方向、締固め効果の影響およびマスコン内部の温度上昇の違いについて検討した^{2,3,4)}。

実験方法

1. 使用材料と配合および供試体の作製

セメントは比重3.16の普通ポルトランドセメント、細・粗骨材は鳥取県千代川産の川砂、川砂利で、それらの物理的性質を第1表に示す。第2表には実験に使用したコンクリートの示方配合を示す。

標準供試体は $\Phi 10 \times 20$ cmの円柱供試体、マスコン供試体は $70 \times 40 \times 20$ cmのサイズを4体（横打ち、縦打ち2体ずつ。その内1体は発泡スチロールで全面断熱、第1図参照）作製した。

1バッチ50ℓまたは60ℓとし、先ず骨材とセメントを強制練りミキサーで75秒間空練りし、次に水を加えて30秒間練混ぜ、一旦ミキサーを停止し隅角部の練混ぜ不十分な部分を鍍で掻き混ぜ、さらに150秒間練混ぜた。その後、練板上に排出し、手練りで2往復切返しを行いながら練混ぜた。

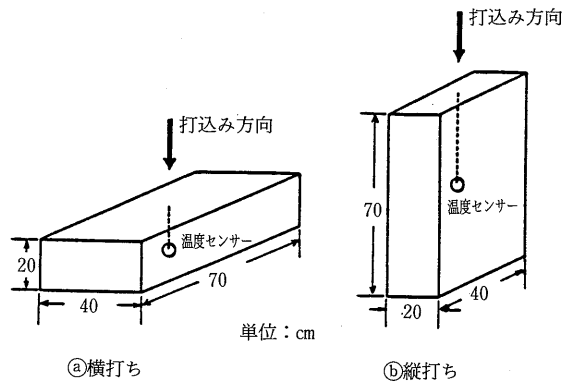
標準供試体はJIS規準に従い15本作製した。マスコン供試体は、高さ10cmを1層として、横打ちで2層、縦打ちで7層に分けて打込んだ。締固めは、内部振動機で容積 $10 \times 10 \times 10$ cm³当たり1回行い、締固めエネルギーができるだけJIS規準²⁾に近くなるようにした。

マスコン供試体では、型枠への打込み打設後、温度センサーを中心部に挿入し、脱型する材令5日まで連続温

第1表 使用材料の物理的性質

項目	川砂	川砂利
比重	2.59	2.60
粗粒率	2.75	6.54*
吸水率(%)	2.67	1.81
有効吸水率(%)	1.64	1.30

*人為的に調整した値



第1図 マスコン供試体の種類と打込み方向（横打ち・縦打ち）

度測定を行った。標準供試体は、打設後、恒温恒湿室に1日間置き、脱型してから 20 ± 3 °Cの恒温水槽内で所要期間標準養生した。

マスコン供試体（横打ち、縦打ち各2体ずつ）は、打設後ビニールシートで覆い5日間実験室に静置し、脱型後、発泡スチロールで断熱してない2体を恒温水槽内で所要期間標準養生した。断熱した2体は引続き材令28日まで室内で湿布をかけて気乾養生した。

2. 測定項目と測定手順

15本の円柱供試体については、材令7, 14, 21, 28日において密度、超音波伝播速度を測定し、さらに材令28日に10本圧縮強度、5本割裂引張強度を測定した。マスコン供試体については、材令7, 14, 21, 28日に供試体本体の超音波伝播速度のみを測定し、材令28日には直径10cm、高さ約20cmのコアを供試体より10本ずつ採取し、このコアの両端部平滑処理後、密度、超音波伝播速度、圧縮強度と一部割裂引張強度を測定した。

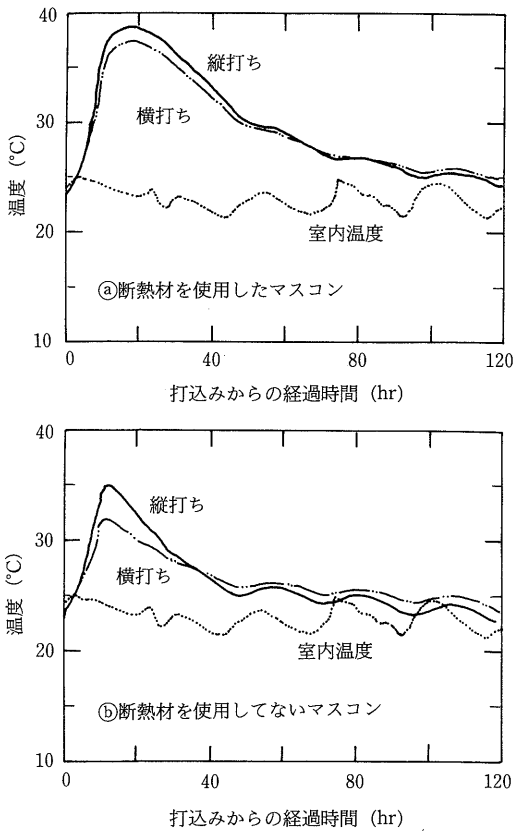
結果と考察

1. マスコン供試体内部温度の経日変化

第2図には、横打ちと縦打ちのマスコン供試体の内部温度の経時変化を示す。この図から以下のことが分かる。
①打込みから内部最高温度に達するまでの時間は、ほぼ

第2表 実験に使用した示方配合

最大骨材寸法 (mm)	スランブの範囲 (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)			
					水	セメント	細骨材	粗骨材
20	12±2	2.5	55	48.75	165	300	903	953



第2図 マスコン供試体の内部温度の経時変化

15時間前後で、養生方法（断熱材の有無）の影響はさほどみられない。

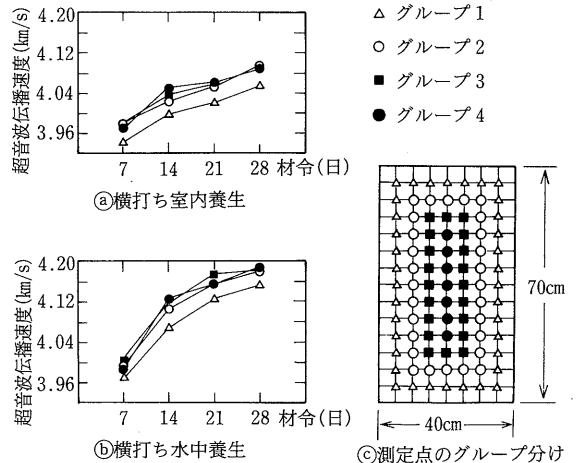
②断熱材があると内部最高温度も高く、そのピーク継続時間も長くなる。理由は、断熱材により熱の放散が阻止されるのは勿論であるが、断熱材で囲われるということは、供試体のサイズを大きくしたのと同じ役割を果たしていると考えられるからである。

③最終安定温度（外気温または室温）に達するまでの時間は、断熱材処理をした方が長くなる。つまり、断熱材処理は供試体をよりマッシュなコンクリートにするからで、水と熱の放散が緩慢となり熱が内部に蓄積するからである。

④横打ちと縦打ちを比べた場合、縦打ちの方が内部最高温度は高くなる。これは、縦打ちの方が型枠に囲まれている面積が大きいため、水と熱の放散がスムーズにいかないからである。また断熱材処理によって横打ちと縦打ちの内部最高温度の差は小さくなる。

2. 養生効果がマスコンの強度発現に及ぼす影響

養生効果は、供試体の外側から内部に向かって進行していくから内部と外部（外周部と内部）に強度差が生じることは容易に想像できる。第3図には横打ちマスコン供試体の超音波伝播速度の結果をもとに内部と外部の強度発現の違いを示す。測定点は、同図◎に示すように5cm間隔で、各値は外側と内側のそれぞれの平均値である。水中・室内養生供試体とも予想に反して内側の方が大きい値を示している。この原因は、測定長さが20cmであることと、サイズが70×40×20cmと立方体でなく一部が薄い直方体のため、薄い面を構成する70×40cmからの養生効果が最優先するからである。今後、立方体のマスコン供試体で検討すべきであろう。

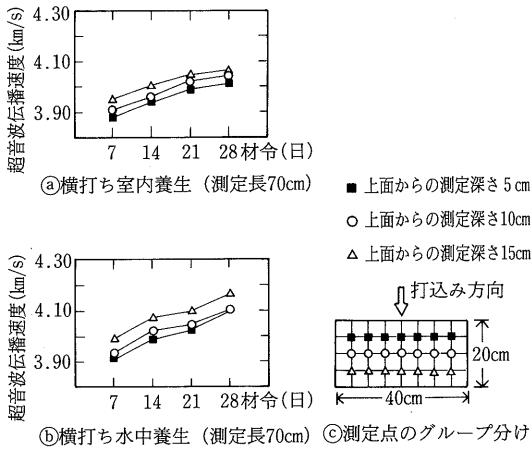


第3図 養生効果がマスコンの強度発現に及ぼす影響（横打ち：測定長20cm）

3. 打込み方向がマスコンの強度発現に及ぼす影響

コンクリート部材は、大きく分けて薄い板状の広がりのあるスラブと梁や柱のような断面積の大きい縦長の部材とがある。横打ちマスコン供試体は厚さ20cmであることからスラブ状の部材と考えられるし、一方縦打ちマスコン供試体は高さ70cmの柱を想定できる。つまり、打込み深さ20cmのスラブと打込み深さ70cmの柱といえる。この打込み深さ方向の強度の違いを超音波伝播速度で検討してみる。

(1) 横打ちマスコンの場合 第4図には、水中・室内養生した横打ちマスコン供試体の深さ方向の超音波伝播速度の分布（測定長さ70cm）を示す。20cmの打込み深さであってもはっきりと下部の方が大きい値を示しており、しかも材令が進行してもその差は縮まらない。



第4図 打込み方向がマスコンの強度発現に及ぼす影響 (横打ち：測定長70cm)

(2) 縦打ちマスコン供試体の場合 第5図には、水中・室内養生した縦打ちマスコン供試体の長さ方向の超音波伝播速度の分布 (測定長さ40cm) を示す。上部10cmの値が他に比べ小さい。これは締固め効果が期待できないだけでなく、振動締固めによって気泡が上昇するとブリージングによる水みちが多く生じるためである。また、下部10cmは他の部分より値が大きくなる。これは上部とは逆の効果を受けることはいうまでもない。

4. 標準供試体と抜き取りコアの諸性状の比較

(1) 密度の比較 第6図には材令28日における標準供試体 (15本) と4体のマスコン供試体から採取したコア (各10本ずつ) の密度の平均値を比較したものである。供試体が小さいほど締固め効果が行き渡り易いことがわかる。

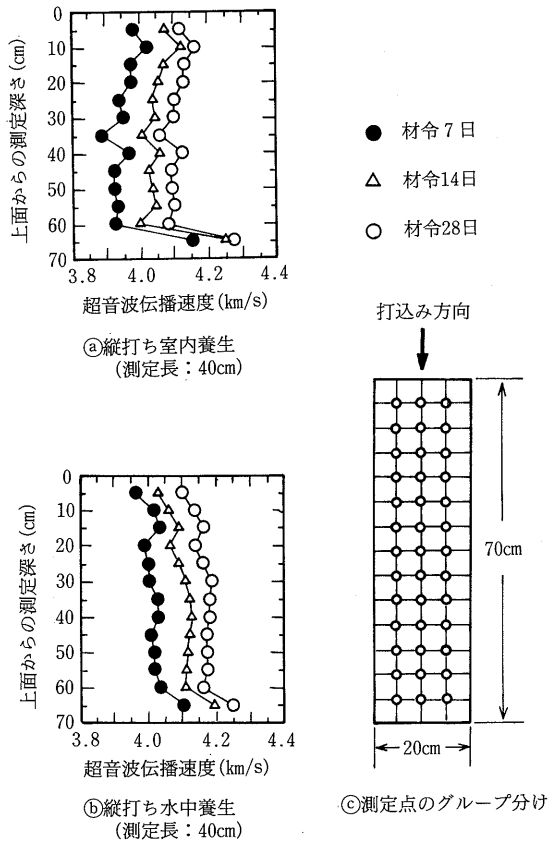
第7図は、縦打ちマスコン2体の上部と下部から採取したコア2本ずつの密度を比較したものである。上部よりも下部の方が大きい密度を示すことがわかる。

(2) 超音波伝播速度の比較 第8図は、第6図と同様に超音波伝播速度について比較したもので、水中養生したものの方が大きい値を示すことがわかる。

(3) 圧縮強度の比較 第10図は、第6図と同様に圧縮強度の比較を示す。やはり水中養生したものの方が大きい値を示す。第10図は、第7図と同様に縦打ちマスコンの上部と下部のコアの圧縮強度を比較したものである。密度の場合とは違い予想に反し上部の方が大きい値を示している。原因は不明で今後の検討事項として残される。

結 論

本実験で得られた結果をまとめてみる。



第5図 打込み方向がマスコンの強度発現に及ぼす影響 (縦打ち：測定長40cm)

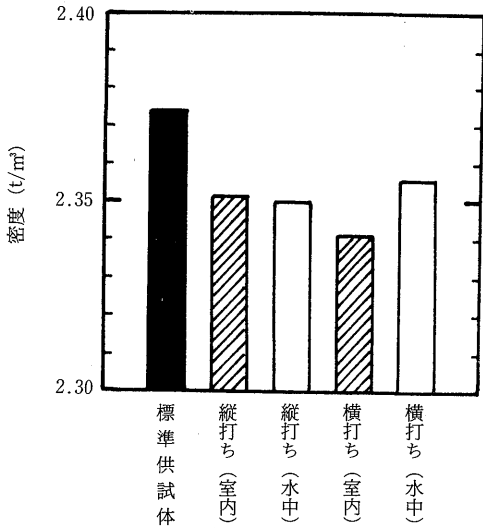
①打込みから内部最高温度に達するまでの時間は、養生方法の影響をさほど受けない。

②断熱材があると内部最高温度も高く、その継続時間も長くなる。つまり断熱材で囲うことは、供試体のサイズを大きくすると同じ役割を果たすものと考えられる。

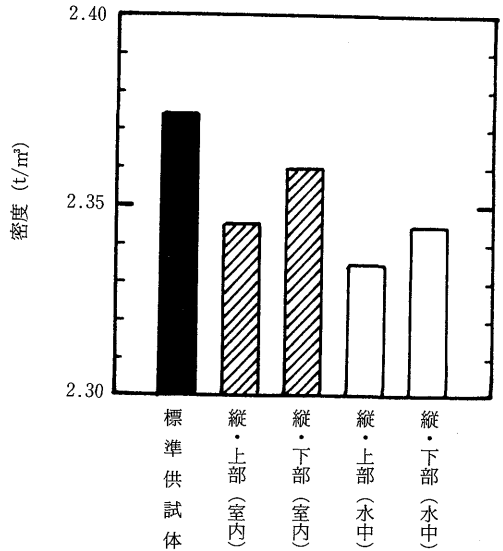
③締固め効果は下部のコンクリートほど多く受け、上部10cm厚さのコンクリートの超音波伝播速度は、それより下のものに比べ小さいものとなる。なお、この締固め効果の差は、材令が進行してもなくなる。

あ と が き

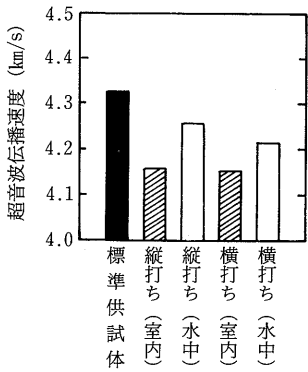
マスコンクリートに関する多くの研究は、温度上昇に伴うひび割れ発生メカニズムとその抑制に向けられてきている^{7,9,10}。その重要性はいうまでもないが、実構造物が設計基準強度で設計され、その設計基準強度が小さい



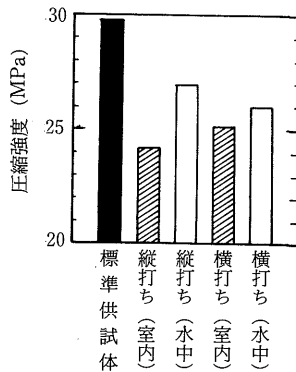
第6図 抜き取りコアの密度の比較



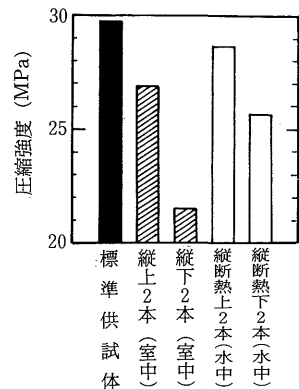
第7図 縦打ちマスコンの上部と下部の密度の比較



第8図 抜き取りコアの超音波伝播速度の比較



第9図 抜き取りコアの圧縮強度の比較



第10図 縦打ちマスコンの抜き取りコアの圧縮強度の比較

標準円柱供試体で求められていることを考えれば、より実構造物に近いマスコン供試体の強度発現の様子と、標準供試体のそれとの違いを十分把握しておくことも忘れてはならない面で、研究成果も多くある^{5,6,8,11,12)}。しかし、供試体が大きくなるため、標準供試体と同じ養生条件にすることが難しいことや、運搬・移動が容易でないなど実験遂行がスムーズにいかない点も多い。

内部温度上昇によるひび割れ抑制問題が数値計算である程度解決できるのに対し、強度発現に関する研究は確

立されたものがなく、データの蓄積も少ないのが現状ではないであろうか。

最後に本実験を遂行するにあたり平成6年度当研究室の専攻生の御助力を賜った。ここに記して深甚なる感謝の意を表す。

引用文献

- 1) 土木学会：コンクリート標準示方書規準編③(平成3年版)，土木学会(東京) pp.320-325

- 2) 服部九二雄・森井俊広：農土学会中四国支部講演要旨, 48 54—56 (1993), 49 52—54 (1994)
- 3) 服部九二雄・森井俊広：鳥大農研報, 47 79—85 (1994)
- 4) 服部九二雄・森井俊広：農土学会論文集, 164 33—40 (1993)
- 5) 毛見虎雄・平賀友晃・倉林清・荒巻哲生：コンクリート構造物のコア採取方法と強度について, セメント・コンクリート, 373 22—29 (1978)
- 6) 毛見虎雄・平賀友晃・倉林清・篠崎徹・荒巻哲生：比較的マッシュなコンクリートの強度分布, セメント・コンクリート, 387 18—25 (1979)
- 7) マスコンクリートの温度応力研究小委員会：マスコンクリート温度応力推定方法に関する既往の研究とその総括(1), (2), (3), (4), コンクリート工学, 21(8) 4—17 (1983), 21(9) 4—12 (1983), 21(11) 4—12 (1983), 22(1)23—27 (1984)
- 8) 森田司郎・近藤吾郎・高 勲範：水和熱によるコンクリートの温度履歴と強度発現性, セメント・コンクリート, 578 57—65 (1995)
- 9) 村田二郎：コンクリート技術の100講義, 山海堂, 東京 (1993) pp.348—356
- 10) 日本コンクリート工学協会：マスコンクリートの温度応力発生メカニズムに関するコロキウム論文集 (1982) pp. 1—104
- 11) 魚本健人・加藤 潔・広野 進：コンクリート構造物の非破壊検査, 森北出版, 東京 (1990) pp. 1—182
- 12) V.M.Malhotra : In situ/Nondestructive Testing of Concrete. ACI Publication SP-82 (1984) pp.1-744