

型枠面からのコンクリートの締固め評価方法に関する検討

Study on Evaluation Method for Compactability of Fresh Concrete from Form Surface

斯波 明宏 AKIHIRO SHIBA

樋口 正典 MASANORI HIGUCHI

佐々木 亘 WATARU SASAKI

高周波静電容量式水分計および赤外線サーモグラフィにより合板型枠面からコンクリートの充填状態を確認するための実験を小型試験体にて行い、締固めの有無による相違を検討した。その結果、コンクリート打込み前に対し、打込み後（締固めなし）および締固め後の含水率は、打込み前の含水率によらず、ほぼ一様に上昇し、締固めによりさらに上昇することが明らかとなった。また、含水率の差分により締固めの必要性を判断できることが判った。型枠表面温度は、条件によって締固めの有無による違いが現れることが明らかとなった。
キーワード：型枠面、締固め、含水率、型枠表面温度

In order to evaluate compactability of fresh concrete from the surface of plywood form by a high-frequency capacitance water meter or an infrared thermography, the influence of compactability on their results have been investigated by using small specimens. The results showed that water content of after-placing concrete without compaction or after compacting concrete increased almost evenly regardless of that of before-placing concrete and water content of after compacting concrete increased more than that of after placing concrete without compaction. In addition, the necessity of compaction could be determined by the difference of water content. It was recognized that compactability influenced on the temperature of form surface with limited conditions.

Key Words: Form Surface, Compactability, Water Content, Temperature of Form Surface

1. はじめに

コンクリートの充填および締固め状態は、コンクリート構造物の安全性や耐久性を左右する非常に重要なファクターであり、いくら良質な材料を使用し、最適な配合設計を行ったとしても、密実に充填されなければ性能は十分に発揮できない。コンクリートの充填や締固めについて最も懸念されるのはかぶり部分であり、耐久性の面からも非常に重要な箇所と考えられる。現状では、充填状況を確認する手法として、鉄筋などに小型振動センサーを設置し、振動特性の変化を捉えることによりセンサー周辺の充填状況の評価する方法¹⁾があるが、施工上あるいは経済上の面から箇所が限定されることや、耐久性の面からかぶり付近にはあまり設置できないことなどが課題である。一方で、型枠外面からかぶり部分の充填状態を評価する手法としては、打音による確認方法や赤外線サーモグラフィを用いた方法²⁾などがある。いずれの方法もコンクリートの有無については明瞭に判断でき

るものの、充填の程度や締固めの程度を評価する手法として十分に検証されているとは言い難い状況である。また近年では、高周波静電容量を用いた方法³⁾により、空洞や模擬豆板などについて評価可能であることが報告されているが、まだ研究事例が少なく、データの蓄積や適用性についての評価が必要と考えられる。

本研究では、現場での使い易さや広範囲での測定を考慮して、型枠外面からの非破壊検査手法である高周波静電容量式水分計と赤外線サーモグラフィを用いて実験を行った。大きな空洞や明らかな充填、未充填の相違は前述した方法で確認できることが明らかとなっているので、ここでは、主にコンクリート打込み時の締固めの有無による相違を検討した。また、コンクリートの配合を変えた場合や種々の条件を変えた場合についても検討を行った。

2. 試験概要

(1) 試験体

コンクリートの充填確認試験に用いた試験体型枠を写真-1に示す。型枠の大きさは幅 600 mm×高さ 300 mm×奥行き 300 mmで、厚さ 12mm の一般的な化粧合板である。試験配合は、表-1に示すように水セメント比 55%，スランプ 8cm を基本配合とし、スランプ（単位水量）を大きくしたケース、水セメント比を 40%にしたケースについて実験を行った。また、基本配合を用いて、型枠に事前散水したケースや型枠温度とコンクリート温度の差が小さい場合などについて比較検討を行った。なお、締固めは小型棒形振動機を用いて行い、試験体全体を締固めた場合と、試験体の半分を締固めた場合についても測定を行った。



写真-1 試験体と水分計測定状況

表-1 試験に用いた配合

W/C (%)	スランプ (cm)	空気量 (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				
				W	C	S	G	高性能 AE 減水剤
55.0	8.5	3.9	46.0	165	300	832	998	2.100
55.0	20.0	4.3	46.0	180	327	833	960	2.943
40.0	9.5	4.9	40.0	165	413	740	994	3.304

(2) 測定方法

型枠の1面に6点×2点の計12点の測点を設け、測点の間隔は横方向に10cm、縦方向に10cmとした。水分計はHI-500 (Kett社製)、赤外線サーモグラフィはTH7102MX (NEC三栄社製)を使用した。水分計による測定は、測定モードをALCにして、打込み前、打込み直後（締固めなし）、締固め後にそれぞれ型枠面に直接水分計を当てて行い、一部経時変化も測定した。赤外線サーモグラフィについては、測定面（写真-1の手前側の面）が1画像に収まるように調整し、打込み前、打込み直後（締固めなし）、締固め後に撮影した。また、一部経時変化も測定した。

小さくなっており、締固めにより品質が均一化されたものと考えられる。それぞれの回帰線の傾きを厳密に1とした場合の回帰線を点線で示す（式と相関係数は図中の枠内に示す）。これより回帰線の切片の差はおおよそ1.0となることから、締固めにより含水率がおおむね1.0%上昇することになる。

3. 水分計による測定結果

(1) 含水率の相関

打込み前の含水率と打込み直後の含水率および締固め後の含水率の相関をそれぞれ図-1、図-2に示す。図中の実線は全データを回帰して求めた線を示している。図-1より打込み前と比べて打込み直後の含水率は、多少バラツキはあるものの、全体的に上昇しており、その回帰線から判断するとおおむね比例した関係となっている。回帰線はほぼ傾きが1であることから、打込み前の含水率によらず、ほぼ一定量上昇することが確認され、コンクリートを打込むことにより約4.2%含水率が上昇する結果となった。

(2) 含水率の差分

打込み前を基準とした打込み直後および締固め後の含水率の差分の度数分布を図-3に示す。含水率の差分は0.1%刻みである。締固め後の度数分布は比較的正規分布に近い性状を示しているが、打込み直後の度数分布は3.8%と4.9%にピークが存在する。これは打込み直後の締固めを行っていない状況であっても、ある程度締固まっている箇所（型枠とコンクリートが密に接している箇所）が存在していたと考えられる。よって、打込み直後は、充填度合いに大きなばらつきがあるものと判断され、それらを見落とさないするには細かく点検する必要があると考えられる。打込み直後と締固め直後の含水率差分分布の性状から、含水率差分がおおよそ4.5%以上あれば十分に締固めされていると判断される。

次に、図-2より打込み前に対する締固め後の含水率は、打込み直後の場合と同様、ほぼ一様に上昇している。ただし、その上昇量は約4.7%で、打込み直後よりも若干上昇していることが分かる。また、ばらつきも非常に

(3) 含水率の経時変化

型枠が水分を吸収することにより、含水率の上昇が予想されたため、締固めの有無による含水率の経時変化を測定した。その結果を図-4に示す。締固めの有無によらず、15分程度経過するまでは含水率がほとんど変

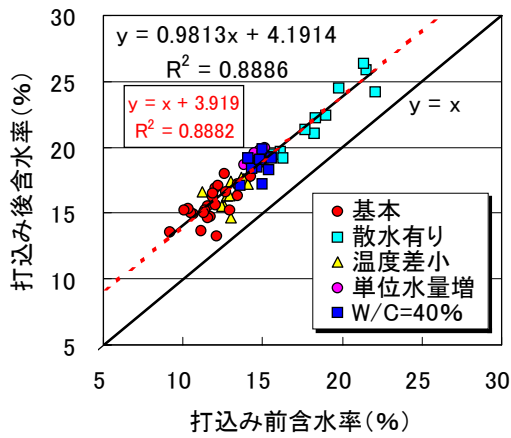


図-1 含水率の相関 (打込み前—打込み後)

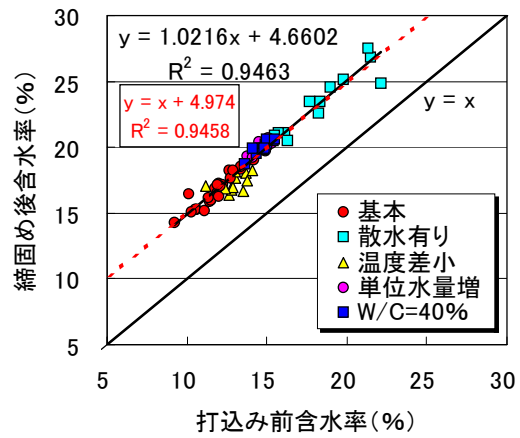


図-2 含水率の相関 (打込み前—締固め後)

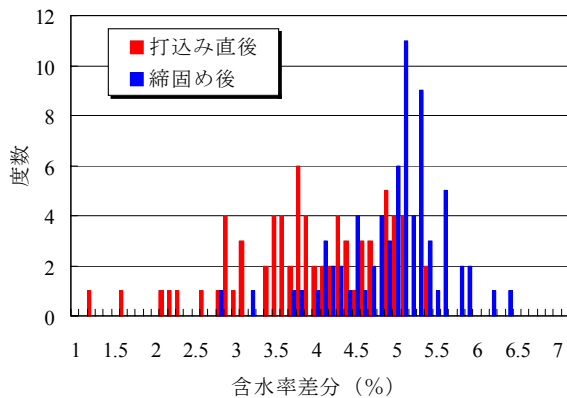


図-3 含水率差分の度数分布

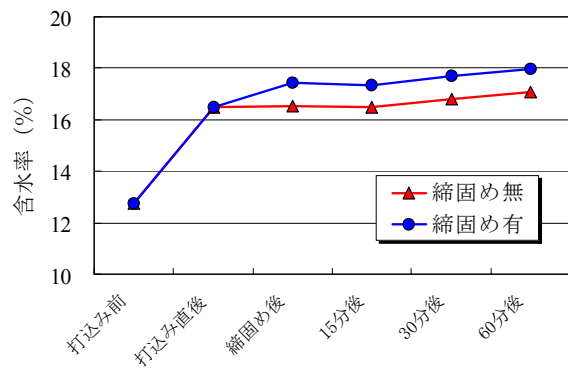


図-4 含水率の経時変化

化しなかった。また、その後も比較的緩やかな上昇となっている。ただし、時間の経過とともに型枠下部で余剰水の回り込みによる含水率の上昇が見られた。

4. 赤外線による測定結果

(1) 締固めの影響

赤外線サーモグラフィーによる測定については、配合などの影響よりも温度の影響が卓越することが想定されることから、基本配合のみの場合で検討を行った。打込み前、半分締固め後および全部締固め後の型枠表面温度の撮影画像を、それぞれ図-5に示す。

コンクリート温度が約 20℃、打込み前の型枠の温度は約 26℃のため、打ち込むことによって型枠表面温度が低下しているが、未締固め領域 (左半分) と締固め領域 (右半分) では相対的に温度差が生じており、締固め領域のほうが温度が低下する結果となった。また、全体を締固めると、ほぼ一樣な温度分布となった。締固めによりコンクリートと型枠の接触面積が増加することで、コンクリートの温度がよりダイレクトに型枠温度に影響を及ぼすものと考えられる。

次に、コンクリート温度が約 17℃、打込み前の型枠

温度が約 5℃の場合の撮影画像を、それぞれ図-6に示す。

先ほどとは逆に打込み前よりも打込み後に温度が上昇し、未締固め領域 (左半分) には大きく温度が低下した領域が存在することが分かる。このまま固化させ脱枠したところ、写真に示すように大きなジャンカが発生していた。

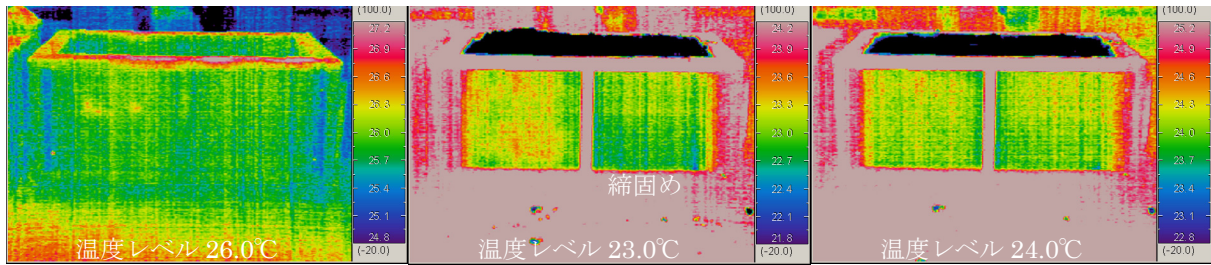
(2) 温度差の影響

型枠温度とコンクリート温度にほとんど差がない場合について検討を行った。打込み直後および半分締固め後の型枠表面温度の撮影画像を、それぞれ図-7に示す。

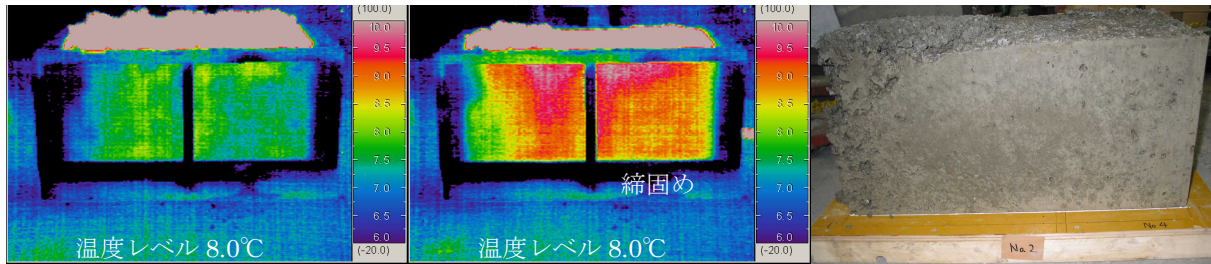
締固めにより若干温度が変化しているが、未締固め領域 (左半分) と締固め領域 (右半分) にはほとんど相対差は見られなかった。よって、型枠温度とコンクリート温度にほとんど差がない場合には、型枠を強制加熱 (あるいは冷却) するなどの対策が必要と考えられる。

(3) 温度の経時変化

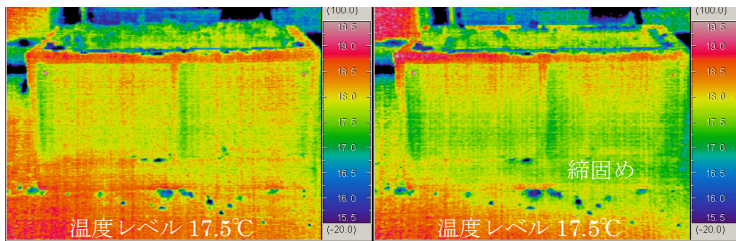
打込み前から打込み後 60分経過までの型枠温度の経時変化を図-8に示す。打込み直後から 15分程度までは、温度の変化が大きいことが分かる。このことは、打込み



打込み前 右半分締固め 全部締固め
 図-5 型枠表面温度の変化 (型枠温度約 26°C, コンクリート温度約 20°C)



打込み直後 右半分締固め 脱枠後
 図-6 型枠表面温度の変化 (型枠温度約 5°C, コンクリート温度約 17°C)



打込み直後 右半分締固め
 図-7 型枠表面温度の変化
 (型枠温度約 17°C, コンクリート温度約 18°C)

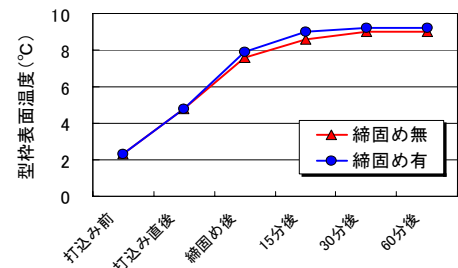


図-8 型枠表面温度の経時変化

前の温度を基準に考える場合には、締固めにより温度が変化したのか、時間の経過により温度が変化したかを判断することが困難であることを意味している。よって、ある時間における未締固め領域と締固め領域の相対的な温度差で判断する必要があると考えられる。

的大きなジャンカが存在する場合には、型枠表面温度に違いが現れる。

⑥ 型枠表面温度は打込み直後から 15 分程度までの温度の変化が大きいため、この間での絶対的な温度差による評価は困難である。

5. まとめ

本研究で明らかとなった事項を以下に示す。

- ① 打込み前の含水率によらず、打込み後、締固め後に含水率はほぼ一様に上昇する。
- ② 締固め後では、締固め前に比べて含水率が若干上昇し、バラツキも非常に小さくなる。
- ③ 打込み前に対する含水率の差分がおよそ 4.5%以上あれば、十分に締固めされていると考えられる。
- ④ 打込み後 15 分程度までは、時間差による含水率の上昇を考慮する必要はない。
- ⑤ 型枠とコンクリートに温度差がある場合や比較

参考文献

- 1) 金子稔ほか：振動を利用したコンクリート充填検知システムに関する基礎実験，コンクリート工学年次論文集，Vol.24，No.1，pp.1527-1532，2002
- 2) 渡部正ほか：型わく面の熱画像解析によるコンクリート打込み時の欠陥検出法に関する研究，土木学会論文集，No.478/V-21，pp.51-59，1993
- 3) 瀬古繁喜ほか：型枠面での高周波静電容量測定によるコンクリート充填状態の判定に関する研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.29，No.2，pp.697-702，2007