

論文 Article

ボス型枠に貼り付けたサーモラベルによる脱型時期の推定

原稿受付 2023年7月26日

ものづくり大学紀要 第13号 (2023) 19~24

澤本武博*¹, 篠崎徹*¹, 森濱和正*¹*¹ものづくり大学 技能工芸学部 建設学科

概要 本研究では、ボス型枠表面にサーモラベルを貼り付け、コンクリートの打込み直後からの温度履歴を目視で測定し、コンクリートの表面温度から脱型時期を容易に推定する方法を検討した。その結果、コンクリート表層部の最高温度と初期材齢の圧縮強度には相関性が見受けられ、ボス型枠にサーモラベルを貼り付け、断熱養生することで、簡易に脱型時期も判断できる可能性が示された。

キーワード : ボス型枠, ボス供試体, サーモラベル, 温度, 脱型時期

Estimate of Demolding Time by Sticking Thermo Label on BOSS Mold

Takehiro SAWAMOTO*¹, Toru SHINOZAKI*¹ and Kazumasa Morihama*¹*¹ Dept. of Building Technologists, Institute of Technologists

Abstract In this study, thermo labels were stick on the surface of the BOSS molds, and the temperature history of the concrete was visually measured after it was placed. Then, a method to easily estimate the demolding time from the surface temperature of the concrete was investigated. As a result, a correlation was found between the maximum temperature of the concrete surface layer and the compressive strength at the young age. It is possible to easily determine the demolding time by sticking thermo label on the boss mold after adiabatic curing.

Key Words : BOSS mold, BOSS specimen, thermo label, temperature, demolding time

1. はじめに

コンクリート打込み後の型枠の脱型日数（存置日数）は、2016年に改正された昭和46年建設省告示第110号より基準が定められている^{1),2),3)}。この基準では、セメントの種類とコンクリート打込み後の平均気温による脱型日数、あるいはコンクリートの圧縮強度により定められている。普通ポルトランドセメントを用い、平均気温が20℃以上の場合、脱型日数は4日となっているが、円柱供試体で5N/mm²以上の圧縮強度を確認して早期に脱型することもある。

しかし、脱型時強度の確認にコンクリートの強度試験を行うことは多大な労力を有するため、温度履歴から圧縮強度を推定して脱型時期を判定することも盛り込まれており、温度センサを搭載したICタグによりコンクリート表面の温度履歴と強度推定式から脱型を行う方法も開発実用化されている⁴⁾。

本研究では、管理材齢における構造体コンクリートの圧縮強度を測定できるJIS A 1163「ボス供試体の作製方法及び圧縮強度試験方法」⁵⁾（以下、単にJIS）のボス型枠表面にサーモラベルを貼り付け、コンクリート打込み直後からの温度履歴と

Table 1 Mix proportions of concrete

セメントの種類	Fc	Gmax (mm)	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)					フレッシュコンクリートの試験結果		
					W	C	S	G	Ad	スランプフロー (cm)	空気量 (%)	温度 (°C)
N	60	20	31.0	48.4	170	549	773	851	7.686	51.0	3.3	22.6



(a)コンクリート打込み



(b)ボス供試体封緘養生



(c)ボス供試体断熱養生



(d)ボス供試体に貼付け



(e)せき板内側に貼付け



(f)せき板外側に貼付け



(g)封緘養生温度測定



(h)断熱養生温度測定



(i)ボルト差込み



(j)ボス供試体割取り



(k)ボス供試体割取り面



(l)圧縮強度試験

Fig.1 Photographs of Experiment

最高温度を目視で測定し、コンクリートの表面温度から脱型時期を容易に推定する方法を検討した。

2. 実験概要

2.1 コンクリートの使用材料および配合

セメントには普通ポルトランドセメントを使用し、細骨材には栃木県栃木市尻内町産砂（表乾密度 2.61g/cm³）、粗骨材には栃木県佐野市会沢町産石灰砕石（表乾密度 2.70g/cm³）を用いた。混和剤には、高性能 AE 減水剤を用いた。

コンクリートの配合は、温度履歴を明確に確認するため、水和による発熱の大きい呼び強度 60 とした。コンクリートの配合およびフレッシュ試験結果を表 1 に示す。

2.2 壁試験体およびボス供試体の作製

壁試験体の寸法は高さ 1100mm、幅 1680mm、厚さ 450mm とし、2 体作製した（壁試験体 1 および壁試験体 2）。ボス供試体の寸法は 100×100×200mm（ボス 100）および 75×75×150mm（ボス 75）とし、壁試験体の A 面（ボス 100）と B 面（ボス 75）にボス供試体を上段に 3 個、下段に 3 個の合計 6 個とした。

コンクリートは、トラックアジテータから直接シュートで打込み、内部振動機で締固めを行った。コンクリートの打込みの様子を図 1(a)に示す。

ボス供試体の作製は、JIS によった。ボス供試体の養生は、壁試験体 1 は JIS どおり封かん養生とした（図 1(b)）。壁試験体 2 は、初期の水和熱による温度上昇の、外気温による低下を抑制するために、発泡スチロールの箱による断熱養生とし

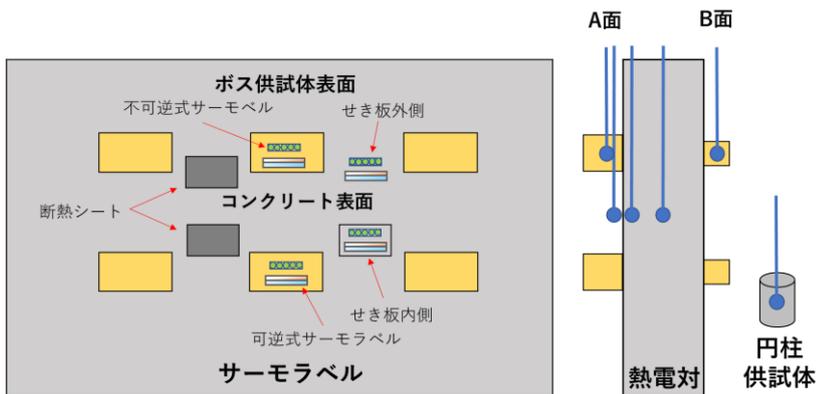


Fig.2 Position of thermo labels and thermocouples

た (図 1(c)) .

2.3 サーモラベルおよび熱電対の取付け位置

サーモラベルおよび熱電対の取付け位置を図 2 に示す. サーモラベルは, 中央の上下のボス型枠表面に貼り付けることとした. サーモラベル貼り付けの様子を図 1(d)に示す.

また, A 面と B 面の壁試験体のせき板の内側および外側にも, 図 1(e)および図 1(f)のようにサーモラベルを貼り付けた. せき板内側の温度測定は, せき板の一部をアクリル板とすることで, 目視で測定できるようにした. また, 断熱アルミシート (断熱シート) を用いて, せき板表面を覆う場合についても実験を行った.

一方, 熱電対には T 型の熱電対を用い, 壁試験体の中心, せき板内側およびせき板外側, ボス供試体および円柱供試体の中心に取り付けた.

2.4 サーモラベルによる温度測定

今回の実験では, 可逆式および不可逆式の 2 種類のサーモラベルを用いた. サーモラベルは, 示温エレメントを耐熱フィルムで密封した構造となっており, 図 3(a)のように可逆式サーモラベルは発熱温度に応じて数字で表示され目視で表面温度を測定することができる. デジタル表示は 2°C 刻みであるが, 表示の色の濃さから 0.5°C 単位で測定した. 可逆式サーモラベルの温度測定は, 打込み後 3 時間, 材齢 1 日, 3 日および 7 日において行った. 測定の様子を図 1(g)および図 1(h)に示す.

不可逆式サーモラベルは, 図 3(b)のように最高温度に達した時に温度表示の下に印が付き, 測定時間に関わらず最高温度を確認することができる.



(a)可逆式サーモラベル



(b)不可逆式サーモラベル

Fig.3 Photographs of thermo label

55°C 以上から表示される不可逆式サーモラベルを用いたため, 表示されない場合は不検出とし, 表示される色の濃さから 1°C 単位で測定した.

熱電対の測定は, データロガーにより 10 分ごととした.

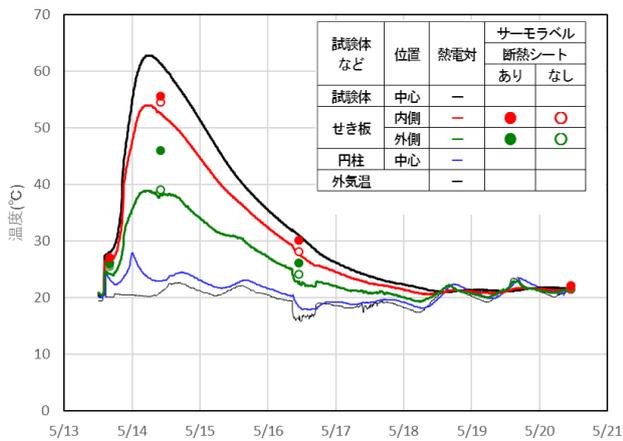
2.5 初期材齢における圧縮強度試験

コア供試体で圧縮強度試験を行う場合は, JIS A 1107 で $15\text{N}/\text{mm}^2$ 以上の圧縮強度に達していることとしているため, コア供試体による初期材齢時の強度試験はできない. また, 円柱供試体を用いると, 外気温度の影響を大きく受けるため構造体コンクリートよりも強度が小さく測定されてしまう. そのため, 初期材齢における構造体コンクリートの強度試験は, 初期材齢の強度も測定できるボス供試体を用いることにした. 初期材齢の圧縮強度試験はボス 100 を用い, JIS に準じて行った. ボス供試体の割取りから圧縮強度試験の様子を, 図 1(i)~図 1(l)に示す.

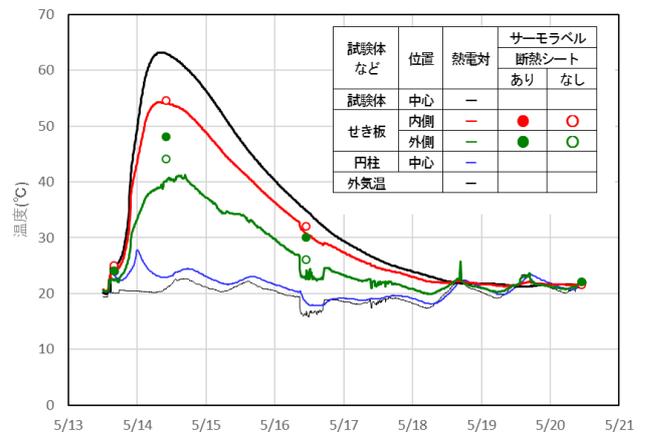
3. 実験結果および考察

3.1 壁試験体の温度測定

壁試験体の温度履歴を図 4 に示す. 熱電対の温度履歴で最高温度 60°C 超が躯体中心, 55°C 程度がせき板内側, 40°C 弱がせき板外側である. 壁試験体 1 および壁試験体 2 とともに, せき板内側に貼り付けた可逆式サーモラベルは材齢 1 日において 55°C 付近の最高温度を示し, その後徐々に温度低下していく様子が示された. 一方, せき板外側に貼り付けたサーモラベルは 40°C 程度で, 断熱シー



(a) 壁試験体 1



(b) 壁試験体 2

Fig.4 Temperature history of wall specimen

Table 2 Maximum temperature of thermos label sticking on sheathing

(a) 壁試験体 1

測定位置	可逆式(°C)	不可逆式(°C)
せき板外側	39.0	不検出
せき板外側(断熱シート)	46.0	不検出
せき板内側	54.5	54.0
せき板内側(断熱シート)	55.5	55.0

(b) 壁試験体 2

測定位置	可逆式(°C)	不可逆式(°C)
せき板外側	44.0	不検出
せき板外側(断熱シート)	46.5	不検出
せき板内側	56.5	56.0
せき板内側(断熱シート)	—	—

トを用いても 45°C程度までしか上昇しなかった。そのため、サーモラベルを用いて表層のコンクリート温度を測定するためには、せき板内側にサーモラベルを貼り付ける必要がある。

一方、円柱供試体に取り付けた熱電対は 20°C付近から温度上昇はなく、外気温とほぼ同様の温度履歴であった。これは、円柱供試体は直径 100mmと小さいため外気温の影響を大きく受けることによる。このように、コンクリート表層部の最高温度が 55°C程度に達した壁試験体と円柱供試体のコンクリート温度は大きく異なり、サーモラベルでの温度測定により初期材齢の強度が推定できれば、早期脱型の判断につながる。

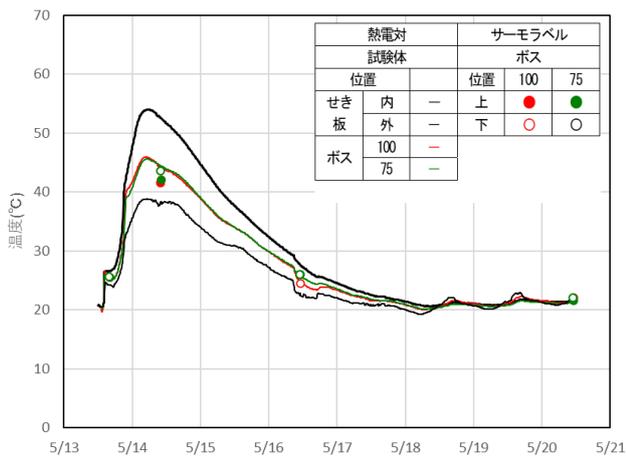
せき板に貼り付けた可逆式および不可逆式サーモラベルの最高温度を表 2 に示す。今回用いた不可逆式は 55°C~70°Cの範囲のため、せき板外側は不検出、せき板内側は 55°C程度となり、可逆式とほぼ同じ値を示した。そのため、不可逆式サーモラベルを貼り付けることで、目視による温度測定のタイミングは必要なく、最高温度を測定するには実用的である。

3.2 ボス供試体に貼り付けたサーモラベルによる温度測定

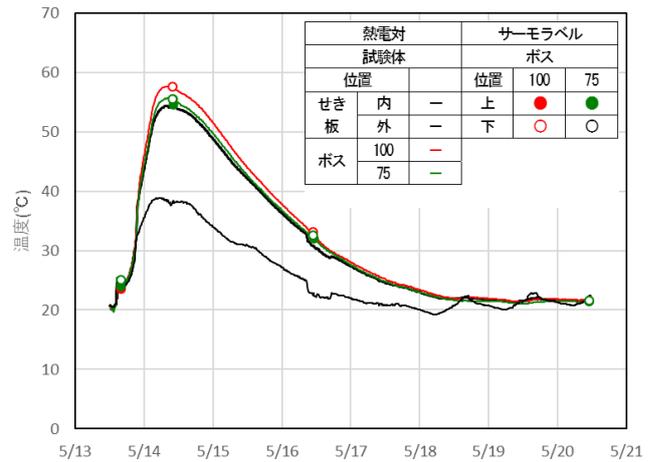
封緘養生したボス供試体の温度履歴を図 5(a)に示す。図中には、熱電対によるボス供試体中心部の温度と、せき板の内側と外側の結果も示している。ボス供試体を封緘養生した場合のボス型枠表面の温度は、最高温度が 40°Cを少し超える程度で、せき板内側の温度すなわちコンクリート表層部の 55°C程度より低くなった。これは、ボス型枠の表面にサーモラベルを貼り付けただけでは、外気温の影響を大きく受けるためと考えられる。

断熱養生したボス供試体の温度履歴を図 5(b)に示す。ボス供試体を断熱養生することで、せき板内側の熱電対と同程度の最高温度となった。これは、ボス供試体に発砲スチロール製の断熱養生箱を取り付けることで、ボス型枠表面に貼り付けたサーモラベルが外気温の影響をほとんど受けなかったためと考えられる。

ボス供試体に貼り付けた可逆式および不可逆式サーモラベルの最高温度を表 3 に示す。ボス供試



(a) ボス供試体封緘養生(壁試験体 1)



(b)ボス供試体断熱養生(壁試験体 2)

Fig.5 Temperature history of BOSS specimen

Table 3 Maximum temperature of thermos label sticking on BOSS mold

(a) ボス供試体封緘養生(壁試験体 1)

測定位置	可逆式(°C)	不可逆式(°C)
ボス100上	41.5	不検出
ボス100下	42.0	不検出
ボス75上	42.0	不検出
ボス75下	43.5	不検出

(b)ボス供試体断熱養生(壁試験体 2)

測定位置	可逆式(°C)	不可逆式(°C)
ボス100上	55.5	55.0
ボス100下	57.5	57.0
ボス75上	54.5	55.0
ボス75下	55.5	55.0

Table 4 Relation between compressive strength of boss specimens and maximum temperature of concrete surface

セメントの種類	W/C (%)	打込み時期	打込み温度 (°C)	最高温度 (°C)	圧縮強度 (N/mm ²)		
					材齢1日	材齢2日	材齢7日
N	66.5	5月	26.3	36.5	5.9	10.8	18.3
N	60.0	11月	24.0	32.2	6.5	12.5	18.3
BB	60.0	11月	24.0	29.6	2.2	5.4	15.7
FB	60.0	11月	21.0	32.3	4.7	8.0	15.1
N	45.0	5月	25.0	45.5	12.0	—	26.6
N	37.0	5月	30.5	56.5	21.6	—	38.3
N	31.0	5月	22.6	54.0	39.2	—	63.5

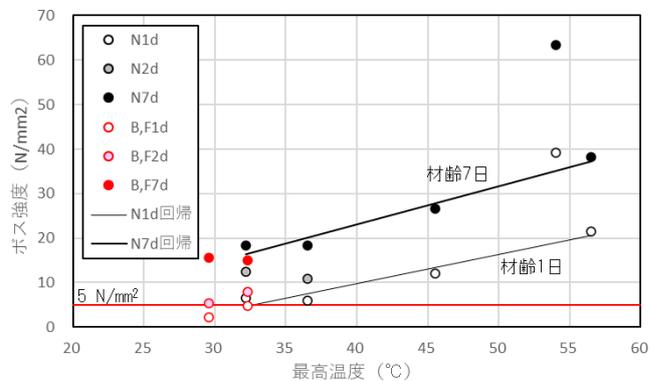


Fig.6 Relation between compressive strength of boss specimens and maximum temperature of concrete surface

体を封緘養生した場合は、不可逆式サーモラベルで検出不可となったが、断熱養生を行うことで可逆式サーモラベルと同程度の最高温度を示した。

3.3 最高温度による脱型時期の推定

既往のデータ^{(6),(7),(8)}も含めた初期材齢におけるボス供試体の圧縮強度とコンクリート表層部(せき板内側)の最高温度の関係を表4および図6に示す。なお、図6の回帰直線では、初期強度が極端に大きい水セメント比31%の高強度コンクリー

トは除外している。これは、いずれも標準期に供試体を作製しており、水セメント比31%の配合は単位セメント量が多く、最も温度が高くなると予想されたが、外気温がかなり低く、温度がそれほど上昇しなかったことによる。

初期材齢の強度とコンクリート表層部の最高温度には相関性が見受けられ、最高温度が35°C程度においては、材齢1日でせき板を取り外してよい5N/mm²以上となる。材齢1日で圧縮強度が

5N/mm²を下回っているBB（高炉セメントB種）およびFB（フライアッシュセメントB種）の場合でも、材齢2日には5N/mm²を超えている⁶⁾。このように、コンクリート表層部の最高温度に着目して、型枠の脱型時期が推定できる可能性が示された。

4. まとめ

本研究では、管理材齢における構造体コンクリートの圧縮強度を測定できるボス供試体のボス型枠表面にサーモラベルを貼り付け、コンクリート打込み直後からの温度履歴と最高温度を目視で測定し、コンクリートの表面温度から脱型時期を容易に推定する方法を検討した。その結果、(1)~(4)が明らかになった。

- (1)可逆式サーモラベルをせき板外側（外気側）に貼り付けると外気温の影響を受けるが、アクリル板を通してせき板の内側に貼り付けることにより、コンクリートの表層部の温度履歴を目視で測定できる。
- (2)可逆式サーモラベルを封緘養生したボス供試体のボス型枠表面に貼り付けると外気温の影響を受けるが、ボス供試体を断熱養生することで、コンクリートの表層部の温度履歴を目視で測定できる。
- (3)不可逆式サーモラベルを貼り付けることで、測定時間に関わらず最高温度を測定できる。
- (4)コンクリート表層部の最高温度と初期材齢の圧縮強度には相関性が見受けられ、管理材齢の強度測定用ボス型枠にサーモラベルを貼り付けることで、簡易に脱型時期も判断できる可能性が示された。

謝辞

本研究を行うにあたりまして、RC 構造物総合実習 I のものづくり大学非常勤講師、教務職員の先生方、ものづくり大学技能工芸学部建設学科澤本研究室に所属する大学院生、同研究室の学部生の方々に多大なる御協力を賜りました。ここに記して深謝いたします。

文献

- 1) 建築基準法施行令第七十六条第二項の規定に基づく現場打コンクリートの型 わく及び支柱の取りはずしに関する基準, 1971
- 2) 建告第 110 号: 型わく及び支柱の取り外しに関する基準ならびに同基準の改正について, 2016.3
- 3) 国住指第 4893 号: コンクリート強度並びに型わく及び支柱の取り外しに関する基準の改正について (技術的助言), 2016.3
- 4) (国研) 建築研究所: 建築研究資料, No.168, 型わくの取り外しに関する管理基準, 2016.3
- 5) 日本産業規格: JIS A 1163 ボス供試体の作製方法及び圧縮強度試験方法, 2020.1
- 6) 篠崎徹, 澤本武博, 森濱和正, 袴谷秀幸: ボス供試体を用いたコンクリートの若材齢強度の測定に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.37, No.1, pp.1735-1740, 2015.7
- 7) 松野珠実, 澤本武博, 篠崎徹, 森濱和正: ボス型枠に貼り付けたデジタルサーモラベルによる脱型時期の推定に関する研究—その1サーモラベルの測定値とコンクリート温度の関係—, コンクリート構造物の非破壊検査シンポジウム論文集 Vol.7, pp.303-306, 2022.8
- 8) 蛭田愛海, 澤本武博, 篠崎徹, 森濱和正: ボス型枠に貼り付けたデジタルサーモラベルによる脱型時期の推定に関する研究—その2サーモラベルの測定値による脱型時期の推定—, コンクリート構造物の非破壊検査シンポジウム論文集 Vol.7, pp.307-310, 2022.8