論文　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

篠崎　徹[*1]・澤本　武博[*2]・森濱　和正[*3]・袴谷　秀幸[*4]

要旨：構造体に打ち込まれた若材齢時のコンクリートの圧縮強度を NDIS 3424「ボス供試体の作製方法及び試験方法」により試験を行った。構造体として壁試験体を 3 体作製し，3 種類のコンクリートを打込み，せき板の存置日数とボス試験体およびコア試験体の採取日数を変えて圧縮強度試験を行い，ボス供試体とコア供試体および円柱供試体との強度発現状況について比較検討を行った。その結果，ボス供試体は，コンクリート打込み直後から壁試験体に近い温度履歴を示し，材齢 1 日から圧縮強度を測定できることが確認できた。

キーワード：構造体コンクリート，ボス供試体，コア試験体，円柱供試体，ボス型枠，若材齢，せき板

1. はじめに

コンクリート打込み後のせき板の存置日数は，建築物の部位（基礎，梁側，柱および壁），セメントの種類，気温，養生温度などにより基準が定められている。せき板の脱型は，存置日数以上またはコンクリートの圧縮強度が 5N/mm²以上の場合と規定されている[1,2]。また，JASS5 では 10 N/mm²以上の圧縮強度が発現するまで湿潤養生を行うことを規定している。通常，存置日数による場合，せき板の存置期間が長くなるため，打込み時に採取した円柱供試体を現場封かん養生または標準水中養生したもので圧縮強度を確認している。しかし，円柱供試体による圧縮強度と実際の構造体コンクリートの強度とは，初期の水和熱による強度発現や打込み時の鉛直荷重や水平荷重によるコンクリートの側圧および気温などの影響や施工方法により差異を生じることが考えられる。このようなことから既報[3]ではボス供試体の強度試験法による支柱等存置期間の有効活用について提案がされている。

本研究では，コンクリート打込み初期の若材齢時のコンクリートの強度発現性状を調べるため，ボス供試体を用いて圧縮強度試験を行い，また，若材齢時のせき板へのボス型枠の取付けおよび取外し方法についても併せて検討を行った。コンクリートは初期強度発現の低い水セメント比 60%を使用した。

試験方法として，コンクリート打込み後，壁試験体のせき板の存置日数とボス供試体とコア供試体の採取日数を変えて圧縮強度試験を行い，若材齢時のボス供試体とコア供試体および円柱供試体の強度発現と温度履歴について比較検討した。

2. 実験概要

2.1 使用したボス型枠

実験に使用したボス型枠は，これまで研究がなされ[4]，NDIS 3424 に規定されている 100×100×200mm のボス型枠[5]および現在研究開発中の 100×100×100mm の Cube ボス型枠[6,7,8]の 2 種類とした。ボス型枠および Cube ボス型枠の外観を**写真－1** に示す。

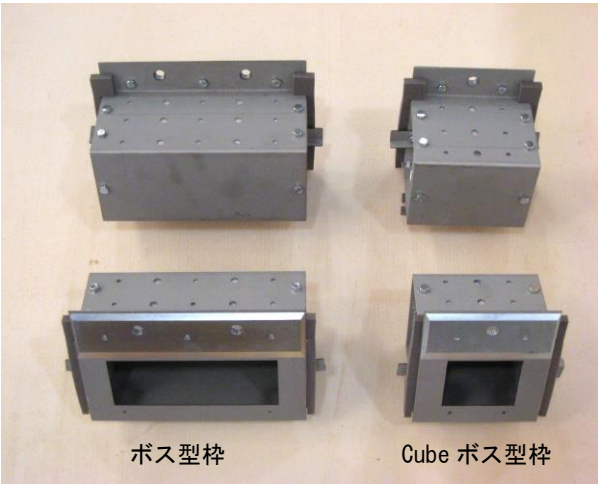


写真-1　ボス型枠および Cube ボス型枠の外観

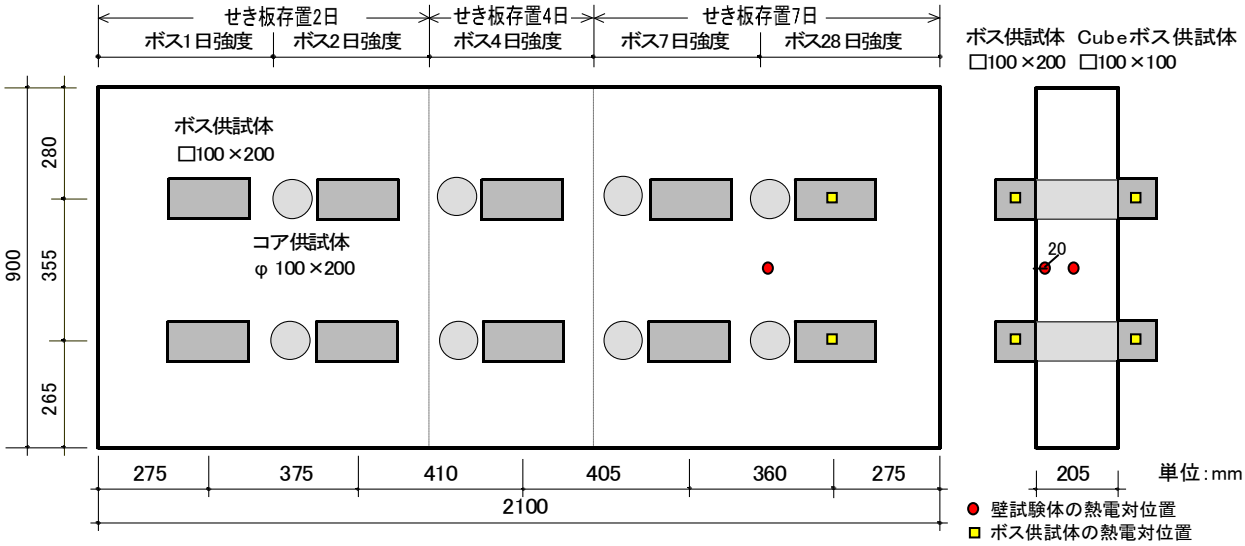
表－1　コンクリートの配合およびフレッシュコンクリートの試験結果

種類	単位量(kg/m³)							試験結果		
	結合材			水	細骨材	粗骨材	混和剤	スランプ	空気量	温度
	C	BS	FA	W	S	G	Ad	(cm)	(%)	(℃)
N60	307	—	—	184	867	923	3.68	14.5	4.6	24
BB60	167	137	—	182	864	923	3.68	15.0	5.9	24
FB60	244	—	61	183	853	923	3.66	15.0	4.2	21

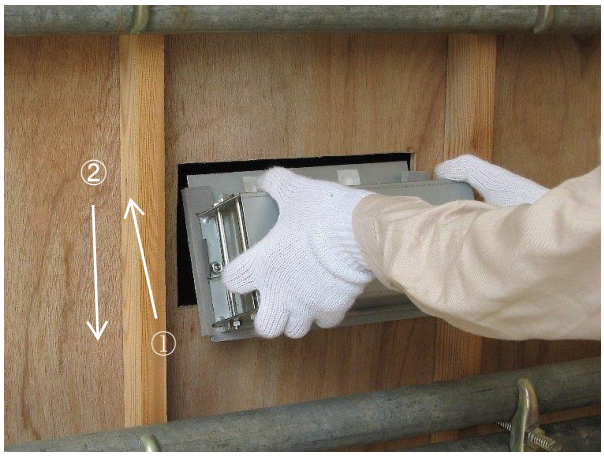
*1 千代田建工(株)　品質管理部　(正会員)
*2 ものつくり大学　技能工芸学部建設学科准教授　博士(工学)　(正会員)
*3 独立行政法人土木研究所　材料資源研究グループ　(正会員)
*4 ものつくり大学　技能工芸学部建設学科非常勤講師

2.2 コンクリートの配合

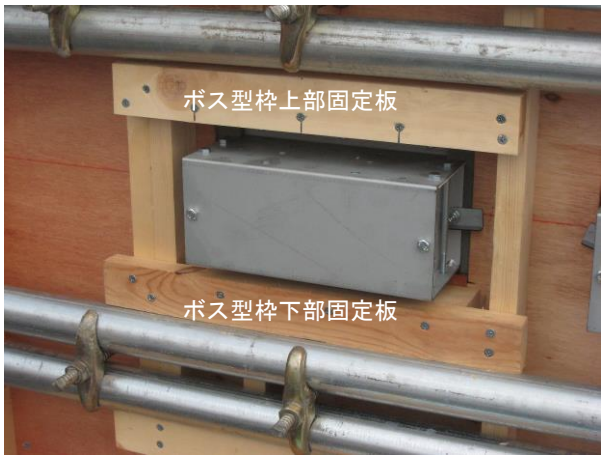
コンクリートの配合およびフレッシュコンクリートの試験結果を**表－1** に示す。いずれの配合も水セメント比60%とし，セメントの種類を普通ポルトランドセメント（密度 3.16g/cm^3），高炉セメント B 種，フライアッシュセメント B 種の 3 種類とした。骨材には，栃木県産陸砂（表乾密度 2.61g/cm^3，粗粒率 2.75）および栃木県産砕石（最大寸法 20mm，表乾密度 2.70g/cm^3）を用いた。また，混和剤にはリグニンスルホン酸塩とオキシカルボン酸塩の AE 減水剤標準形 I 種を用いた。以下，普通ポルトランドセメントを用いたコンクリートを N60，高炉セメント B 種を用いたコンクリートを BB60，フライアッシュセメント B 種を用いたコンクリートを FB60 と呼ぶ。



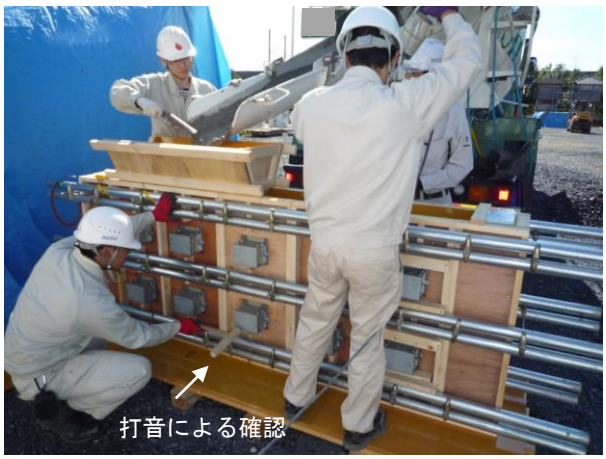
図－1　せき板の存置日数とボス供試体およびコア供試体の採取日数



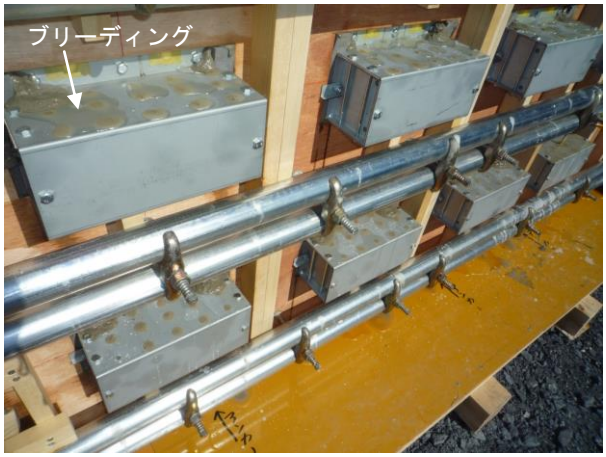
写真－2　ボス型枠の取付け



写真－3　ボス型枠の取付け方法（材齢 1 日）



写真－4　壁型枠へのコンクリートの打込み

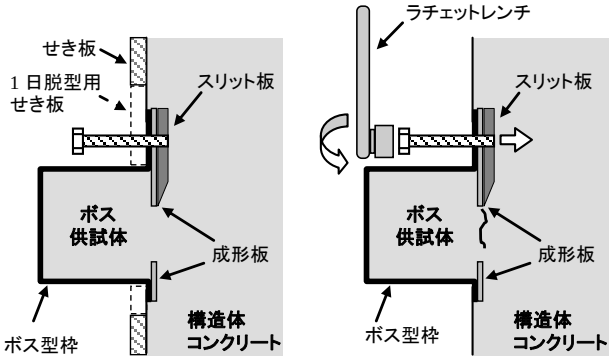


写真－5　ブリーディングによる充てんの確認

写真－6　せき板の存置とボス供試体の割取り状況

写真－7　材齢 1 日のボス供試体割取り方法

写真－8　材齢 2 日以降の割取り方法



図－2　材齢 1 日のボス供試体の割取り方法　　図－3　材齢 2 日以降のボス供試体の割取り方法

写真－9　ボス供試体の圧縮強度試験

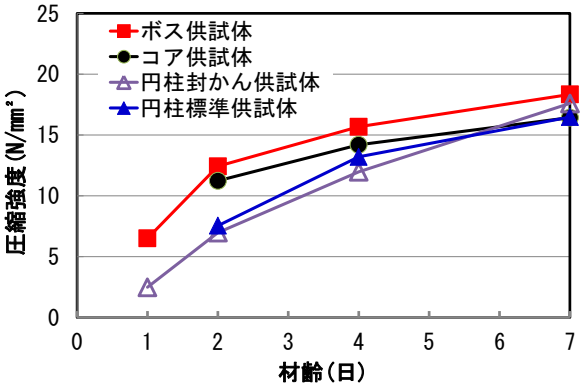
写真－10　コア供試体の採取状況

2.3 ボス型枠の壁型枠への取り付け

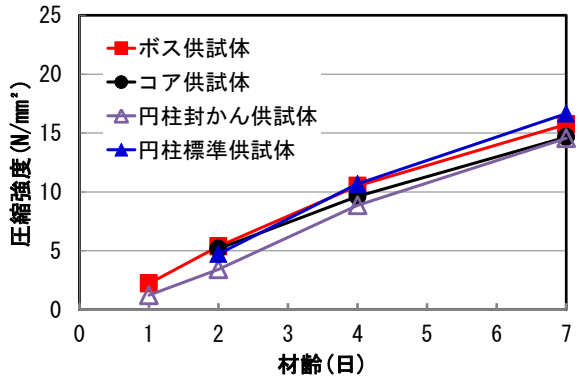
壁試験体の型枠（以下，壁型枠と呼ぶ，長さ 2100×高さ 900×幅 205mm）を 3 体作製し，壁型枠のせき板は，材齢 2 日，4 日，7 日に脱型できるように分割して組み立てた。壁型枠には，せき板の存置日数に合わせて**図－1** に示すようにボス型枠と Cube ボス型枠を上部 5 個，下部 5 個の計 10 個ずつ取り付けた。ボス型枠は，**写真－2** に示すように，壁型枠のせき板にあらかじめ設けた開口に取り付けた。また，材齢 1 日で割り取るボス型枠については，**写真－3** に示すようにせき板を脱型しないで取外しができるよう開口部に加工を施した。

2.4 壁型枠へのコンクリートの打込み

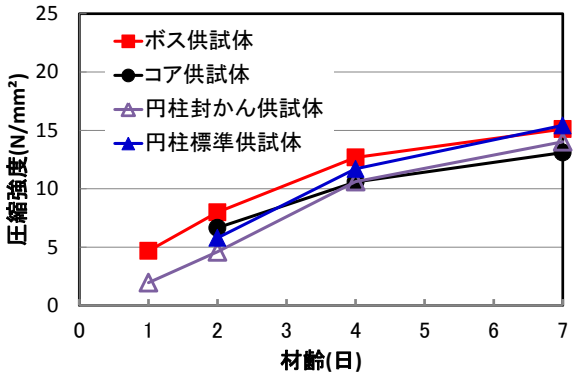
壁型枠へのコンクリートの打込みは，**写真－4** に示すようにトラックアジテータから直接シュートで打ち込み，締固めは 2 層に分けて行った。打込み高さは，壁型枠の中央部まで打ち込み，棒状バイブレータで締め固めた後，下部に取り付けたボス型枠を軽く叩き，コンクリートが十分に充填されているかどうか，**写真－5** に示すようにブリーディングおよび打音により確認を行った。その後続けて壁型枠の上面まで打ち込み，上部に取り付けたボ



(1) N60 の場合



(2) BB60 の場合



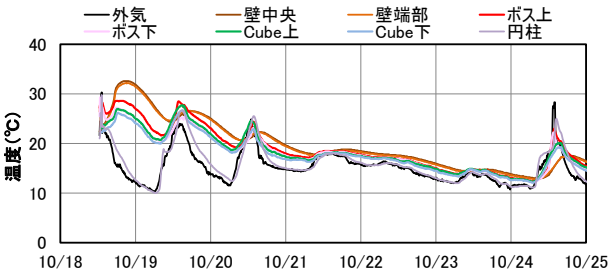
(3) FB60 の場合

図-4　ボス，コア，円柱封かんおよび円柱標準供試体の圧縮強度と材齢の関係

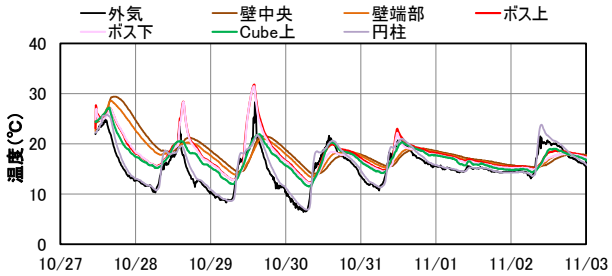
ス型枠も下部のボス型枠と同様に締め固めを行い，充填性の確認を行った。なお，N60，BB60 および FB60 の打込みは，2014 年 10 月 18 日，10 月 27 日および 11 月 4 日の 3 回に分けて行った。

2.5 壁試験体およびボス供試体の温度測定

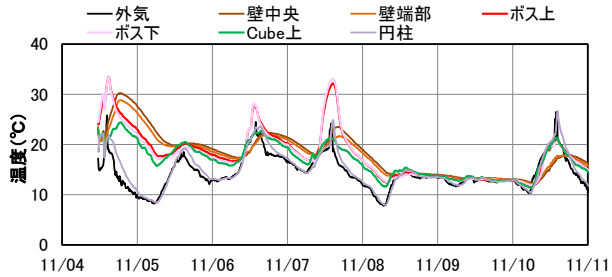
コンクリートの温度測定は，データロガと T 型熱電対を用い，測定時間はコンクリート打込みと同時に 10 分間隔で所定の材齢まで行った。温度の測定位置は，**図－1** に示したように，壁試験体は中央部および表層部から内部 20mm に，ボス供試体は，壁試験体の上部と下部に取り付けたボス供試体および Cube ボス供試体の内部中央部に，現場封かん養生の円柱供試体は中央部にそれぞれ



(1) N60 の場合



(2) BB60 の場合



(3) FB60 の場合

図-5　壁試験体とボス供試体の温度履歴

T 型熱電対を配置した。また，外気温も併せて測定した。なお，壁試験体内の熱電対の設置は，補助棒に T 型熱電対を取り付け，所定の位置に固定した。

2.6 ボス供試体の割取りおよび圧縮強度試験

ボス供試体は材齢 1 日，2 日，4 日，7 日，28 日に上部 1 個，下部 1 個ずつ割り取った。**写真-6** にせき板の存置とボス供試体の割取り状況を示す。ボス供試体の割取りは，あらかじめボス型枠のスリット板に割取り用のネジ孔を設けておき，このネジ孔にボルトを差し込み，ボルトをラチェット等で回したときに反力で壁試験体の表層部から割り取った。**写真－7** および**図－2** に材齢 1 日におけるボス供試体の割取り方法を，また，**写真－8** および**図－3** に 2 日以降の割取り方法を示す。割取り後，ボス供試体は加圧端面を成形・研磨をしないで NDIS 3424 に準拠して圧縮強度試験を行った。圧縮強度試験の様子を**写真－9** に示す。

コア供試体（φ100×200mm）は**図－1** および**写真－10** に示すように材齢 2 日，4 日，7 日，28 日にボス供試体の近傍から採取し，JIS A 1108 に準拠して圧縮強度試験を行った。また，円柱供試体は現場封かん養生および標準水中養生（20±2℃）の供試体を材齢ごとに 3 本ずつ採

表-2　各供試体の材齢 28 日圧縮強度

供試体の種類	ボス強度（N/mm²）	Cubeボス強度（N/mm²）	コア強度（N/mm²）	円柱封かん強度（N/mm²）	円柱標準強度（N/mm²）
N60	27.2	29.0	23.2	23.7	25.7
BB60	25.3	28.1	22.8	24.6	28.4
FB60	20.4	20.1	17.7	20.2	25.9

取し，JIS A 1108 に準拠して圧縮強度試験を行った。なお，各供試体の圧縮強度は，ボス供試体およびコア供試体は上部と下部から採取した 2 本の平均値を，円柱供試体は 3 本の平均値とした。

3. 実験結果および考察

3.1 圧縮強度と温度履歴

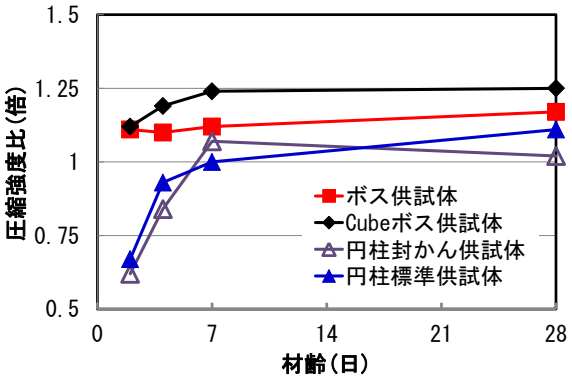
ボス供試体の圧縮強度（以下，ボス強度と呼ぶ），コア供試体の圧縮強度（以下，コア強度），円柱供試体の現場封かん養生の圧縮強度（以下，円柱封かん強度と呼ぶ）および標準水中養生の圧縮強度（円柱標準強度と呼ぶ）と材齢 7 日までの関係を**図－4(1)～(3)** に示す。また，材齢 28 日の各供試体の圧縮強度を**表－2** に示す。

図－4(1) より N60 では円柱封かん強度は材齢 1 日で 2.5N/mm²であるのに対し，ボス強度は材齢 1 日で 6.5N/mm²であった。N60 の場合，ボス強度では材齢 1 日でせき型枠の脱型強度 5N/mm²以上あることが確認できた。また，円柱封かん強度および円柱標準強度は，材齢 2 日で 7.0N/mm²および 7.5N/mm²であるのに対して，コア強度は材齢 2 日で 11.2N/mm²でボス強度の 12.4N/mm²に近い値を示した。N60 の場合，ボス強度およびコア強度は材齢 2 日で湿潤養生期間に必要な 10N/mm²以上であることが確認できた。

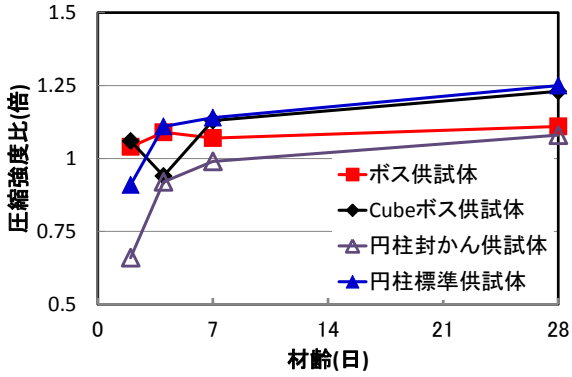
図－4(2) より BB60 では材齢 1 日のボス強度は 2 .2N/mm²で円柱封かん強度は 1.2N/mm²であった。材齢 2 日の円柱封かん強度が 3.4N/mm²に対し，ボス強度およびコア強度は，それぞれ 5.4N/mm²および 5.2N/mm²であった。BB60 の場合，ボス強度およびコア強度は，材齢 2 日でせき板の脱型強度 5N/mm²以上であることが確認できた。また，材齢 4 日で湿潤養生期間に必要な 10N/mm²以上であることが確認できた。

図－4(3) より FB60 では材齢 1 日のボス強度は 4.7N/mm²で円柱封かん強度は 2.0N/mm²であった。また，円柱封かん強度は材齢 2 日で 4.6N/mm²に対し，ボス強度とコア強度は，材齢 2 日で 8.0N/mm²および 6.7N/mm²でせき板の脱型強度以上あることが確認できた。また，材齢 4 日で湿潤養生期間に必要な 10N/mm²以上であることが確認できた。

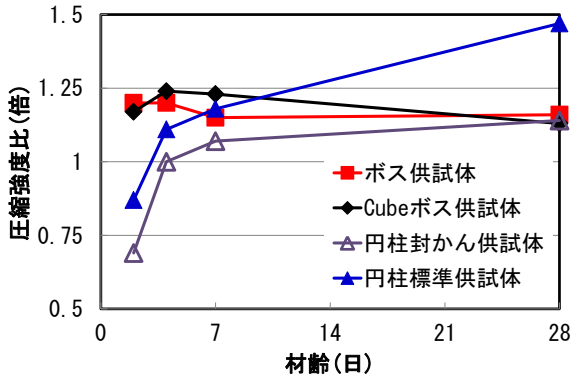
JIS A 1107 では，コア採取は，コンクリートが十分に硬化して，粗骨材とモルタルとの付着が採取作業によって害を受けなくなった時期，すなわち材齢 14 以降もしくは圧縮強度が 15N/mm²に達した後とするのがよいとしている。今回の若材齢におけるボス強度と比較する試験方法がないため，やむを得ずコア強度と比較した。また，NDIS 3424 のボス強度からコア強度（≒構造体コンクリート強度）を推定する際の－1N/mm²の補正は，コンクリート強度が 20N/mm²以上の場合であるため，今回の若材齢では補正を行わないこととした。



(1) N60 の場合



(2) BB60 の場合



(3) FB60 の場合

図-6　コア供試体と各供試体との圧縮強度比

各供試体のコンクリート打込み初期の温度履歴を示すと**図－5(1)～(3)** になる。コンクリートの打込み初期の温度は，水セメント比が大きいため温度発現は低かったが，材齢経過に伴う温度履歴（形状）は，既報 [9]と同様な傾向で推移した。**図－5** より若材齢時のコンクリート

温度とボス供試体の温度はほぼ同等に推移しているのに対し，封かん養生の円柱供試体の温度は外気温とほぼ同様な温度履歴に推移した。これより若材齢時のボス供試体の強度発現には，壁供試体のコンクリート温度が寄与しているといえる。

3.2 コア強度との圧縮強度比

ボス強度，円柱封かん強度，Cube ボス供試体の圧縮強度（以下，Cube ボス強度と呼ぶ），標準水中養生した供試体の圧縮強度（以下，円柱標準強度と呼ぶ）との関係を，それぞれ材齢のコア強度を基準として圧縮強度比を求めると**図－6**(1)～(3)に示すようになる。

円柱封かん強度のコア強度に対する強度比は N60，BB60，FB60 のいずれの場合でも材齢 2 日では約 0.6 倍であったが，材齢 4 日からは強度比が小さくなり材齢 7 日でほぼ同等となった。ボス強度との強度比は，材齢 2 日で約 1.0 から 1.2 で材齢 4 日以降も同程度で推移した。

3.3 ボス強度と Cube ボス強度

図－6 より Cube ボス強度とボス強度の強度差は，材齢 2 日までは，いずれの場合もほとんど差が認められなかった。同様な温度履歴を受けたことから，若材齢（低強度）においては，供試体の寸法（高さ）の影響を受けにくいと考えられる。一方，材齢が進むと Cube ボス強度はボス強度，コア強度より大きくなった。普通ポルトランドセメントを用い材齢 7 日～28 日に強度試験を行った Cube ボス供試体の既往の研究では，Cube ボス強度がコア強度の 1.25 倍程度となるとしており [8]，今回の実験の N60 の試験結果と一致する。

これらの結果より，若材齢時の強度を推定する方法として，実際の構造体コンクリートからボス供試体を割取り強度を調べることが最も有効な手段と考えられ，ボス供試体，Cube ボス供試体とも有効に活用できると考える。

4. まとめ

若材齢時のボス供試体とコア供試体および円柱供試体との強度発現について比較検討を行った結果，(1)～(4)が明らかとなった。

(1) ボス供試体により若材齢時の強度を求めると，10 月下旬から 11 月上旬に打ち込んだ N60 の場合は材齢 1 日，BB60 および FB60 の場合は材齢 2 日でせき板の脱型強度以上であることが確認できた。

(2) ボス供試体は，若材齢時の強度発現にコンクリートの水和熱の影響が寄与されることからせき板脱型時の強度推定の有効な手段と考えられる。

(3) 若材齢時のボス供試体と Cube ボス供試体には顕著な強度差が認められず，同じ温度履歴を受けた若材齢時のコンクリートの圧縮強度は，供試体の寸法（高さ）の影響を受けにくいと考えられる。

(4) 若材齢時の構造体コンクリートを調べることは，せき板の脱型時期の確認や初期材齢でのコンクリートの強度発現状況を調べる上で有効な手段であるといえる。

謝辞

本研究を行うにあたり，和田真樹氏をはじめとしたものつくり大学の澤本研究室の卒論研究生，ならびに大塚研究室の皆様に多大なご協力をいただきました。ここに記して深謝いたします。

参考文献

1) 型わく及び支柱の取り外しに関する基準「建設省告示第 1655 号」
2) 日本建築学会：「建築工事標準仕様書・同解説 JASS5　鉄筋コンクリート工事」，2009
3) 山本宅也：ボス供試体を活用した建築物構造体強度の確認手法の検証と展開，国土交通省近畿地方整備局研究発表会論文集，2009
4) 白山和久ほか：凸部供試体による構造体コンクリートの強度推定について，セメント技術年報，40，pp.257-260，1986
5) 一般社団法人日本非破壊検査協会：NDIS 3424「ボス供試体の作製方法及び試験方法」，2011
6) 澤本武博ほか：ボス供試体の形状および寸法がコンクリートの圧縮強度に及ぼす影響，日本非破壊検査協会平成 24 年度春季講演大会講演概要集, pp.77-80, 2012.5
7) 菊田弘之，澤本武博，篠崎徹，森濱和正：Cube 型ボス供試体の充てん性および圧縮強度に関する基礎的研究, セメント･コンクリート論文集, No.67/2013, pp.274-281，2014.2
8) 篠崎徹，澤本武博，森濱和正，袴谷秀幸：Cube 型ボス供試体の構造体への適用に関する研究，日本非破壊検査協会平成 26 年度春季講演大会講演概要集，pp.27-30，2014.6
9) 篠崎徹，藤井俊和，地頭園博，渡邊一弘，毛見虎雄，白山和久：ボス供試体による高強度コンクリートの構造体強度の推移方法に関する検討，日本建築学会技術報告集，第 16 号，pp.41-44，2002.2