

論文 蒸気養生を行なった加圧成形コンクリートの強度性状

新田智博*¹・宮越 執*²・児玉明彦*³・美谷 潤*⁴

要旨: 本論文は、コンクリート製品工場における生産性の向上と、それに背反して低下する強度性状の改善を目的とし、振動成形後比較的低い加圧力を保持したままで苛酷な蒸気養生を行った場合のコンクリートの主に曲げ強度についてまとめたものである。

加圧成形コンクリートは、0.2N/mm²と比較的低い加圧力でも自由水を絞り出すことが可能であり、拘束状態で加熱養生を行うことでプレス効果が導入され組織が緻密となり加圧なしのものに比べ曲げ強度が56%程度向上することが確認された。また、材料注型から約4時間で3.34N/mm²の曲げ強度が得られており、効率的な製造が可能といえる。

キーワード: 加圧成形コンクリート、加圧力、蒸気養生、内部圧力、プレス効果

1. はじめに

現在、コンクリート製品の製造は、型枠に材料を注型した後蒸気養生を行うのが一般的である。この様な一連の工程を時間の尺度で見ると蒸気養生がその大半を占めており、これを短縮することが生産性の向上には最も有効であることが分かる。しかし、実際には前置き時間の短縮、急激な温度上昇および過大な最高温度の設定など無理な蒸気養生を強いることになり、コンクリートの品質を保持することは難しい。そこで、流し込み製品において品質を保ちつつ生産効率の良い製造方法の確立を目指し、加圧成形コンクリートに着目し実験を行った。

本論文は、製品コスト、設備、作業性を考慮した上で、コンクリートの配合、成形時の加圧力ならびに蒸気養生条件の3要素について適切と思われる基準を設け、更にこれを変化させコンクリートの曲げ強度を特性値に選んで効率的な生産の可能性を模索した結果をまとめたものである。

2. 実験概要

2. 1 使用材料およびコンクリートの配合

(1) 使用材料

普通ポルトランドセメントの物理的性質を表-1に示す。骨材の物理試験結果は表-2に示す通りで、粗骨材、細骨材はそれぞれ茨城県岩瀬町産6号砕石、

表-1 普通ポルトランドセメントの物理的性質

比重	ブレン (cm ² /g)	凝結時間		圧縮強さ(N/mm ²)		
		始発(h-m)	終結(h-m)	3日	7日	28日
3.16	3330	2-22	3-19	15.8	26.0	42.2

静岡県小笠町産の陸砂を用いた。また、コンクリート用化学混和剤には、アルキルカルボン酸化合物系A E剤を用いた。

* 1 ティビュー (株) 技術研究所研究員 (正会員)

* 2 ティビュー (株) 技術研究所研究員

* 3 秩父小野田 (株) 中央研究所セメントコンクリート技術センター (正会員)

* 4 秩父小野田 (株) 中央研究所セメントコンクリート技術センター

表-2 骨材の物理試験結果

骨材の種類	各ふるいを通過する重量百分率									表乾比重	吸水率 (%)	粗粒率 (FM)
	20	15	10	5	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15			
細骨材	100	100	100	98	86	64	43	28	9	2.60	1.45	2.72
粗骨材	100	100	99	4	0	0	0	0	0	2.64	0.38	5.97

（2）コンクリートの配合

コンクリートの配合一覧を表-3に示す。No.1を基準配合とし、No.2, No.3でスランプを変化させ、No.4, No.5で空気量を変化させた。

表-3 コンクリート配合一覧

配合No.	Gmax (mm)	目標SL (cm)	目標Air (%)	W/C (%)	s/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)				
						W	C	S	G	AD
1	10	4.0	4.0	45.0	55.0	180	400	934	776	1.20
2		0.0	4.0	45.0	55.0	163	362	976	768	1.16
3		8.0	4.0	45.0	55.0	190	422	910	756	1.16
4		4.0	2.0	45.0	55.0	185	411	951	790	1.23
5		4.0	6.0	45.0	55.0	173	384	923	767	1.15

2.2 供試体とその成形方法

後述の3.8の比較検討項目のみ強度試験用供試体として100^B×100^H×400^Lmmのはりおよびはり切片を用い、それ以外の項目については曲げ強度試験用供試体として300^B×600^L×60^Tmmの平板を用いた。供試体の成形方法は、予め十分な剛性を持った型枠にテーブルバイブレータを用いて材料を均一に注型した後、図-1のような成形装置に型枠をセットし、加圧力に対して変形が生じないように補強した鉄板を加圧板として解放面の上に載せ、所定の加圧力をロードセルで確認しながら油圧ジャッキによってかけた。次に、供試体はその形状を保つようボルトで固定し、養生を行った。

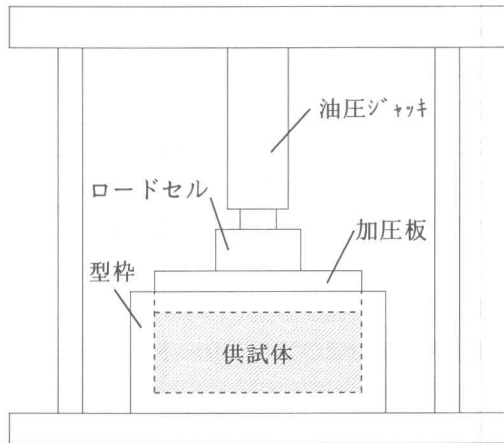


図-1 成形装置

表-4 蒸気養生条件一覧

PTN.	前置き時間 (hr)	昇温速度 (°C/min)	最高温度 (°C)	保持時間 (hr)
1	0	6	75	3
2	1	6	75	3
3	3	6	75	3
4	0	6	60	3
5	0	6	90	3

2.3 養生方法

蒸気養生条件(PTN.1~PTN.5)を表-4に示す。PTN.1を基本の蒸気養生条件とし、PTN.2~PTN.5はそれぞれ前置き時間および最高温度等を変化させたものであ

る。また、供試体は蒸気養生終了直後に脱型し所定の試験材齢まで屋内で気中養生を行った。

2. 4 試験方法

(1) 供試体内部圧力および温度測定方法

供試体内部の圧力および温度の経時変化は、 $300^B \times 600^L \times 60^T$ mm平板供試体のほぼ中央部に土圧計($2N/mm^2 - \phi 50 \times 11.3^t$)ならびに熱電対を埋設し、デジタル式静歪測定器によって計測した。

(2) 強度試験方法

曲げ強度試験および圧縮強度試験はそれぞれ **JIS A 1106**「コンクリートの曲げ強度試験方法」**JIS A 1114**「はりの切片によるコンクリートの圧縮強度試験方法」に準じて行った。ここに、基本となる水準の供試体は日間差をなくすため比較検討項目ごとに作製した。

3. 試験結果および考察

3. 1 供試体内部圧力の経時変化

加圧成形を行った供試体内部における圧力および温度の経時変化を図-2に示す。縦軸には供試体内部圧力および温度を、横軸には時間を示した。

加圧時は、成形装置のロードセルが示す値よりも若干低い圧力が供試体内部に発生し、蒸気養生開始時(加圧開始から約10分)には、自由水の脱水にともなって $0.01 \sim 0.05 N/mm^2$ まで内部圧力が減少する。しかし、コンクリート温度の上昇にともない、供試体が3軸拘束状態にあるため加圧なしのものを除いて再度圧力が増加し、養生開始から80分後に $0.14 \sim 0.18 N/mm^2$ とピークをむかえる。その後徐々に圧力が減少するのは、コンクリートの硬化が進んだためと考えられる。

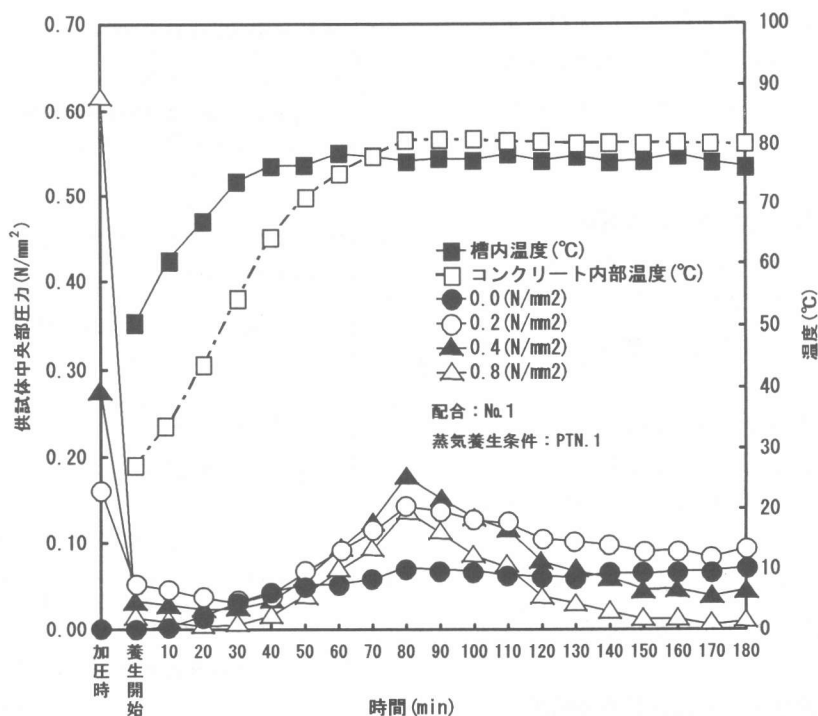


図-2 供試体内部圧力の経時変化

3. 2 加圧力と曲げ強度の関係

図-3は、加圧力と曲げ強度の関係を示したものであり、縦軸に材齢1日の曲げ強度、横軸に加圧力をとった。図中の数値は、加圧力が0.2N/mm²の強度を100とした指数である。

加圧を行わないコンクリートは、0.2N/mm²加えたものの64%程度でしかなく、逆に加圧力0.8N/mm²加えたコンクリートでは約119%と増加しており、曲げ強度が加圧力に比例して増加することが確認された。これは、加圧することにより自由水を強制的に絞り出したことと、養生中のプレス効果がコンクリートの組織を緻密にしたためと考えられる。

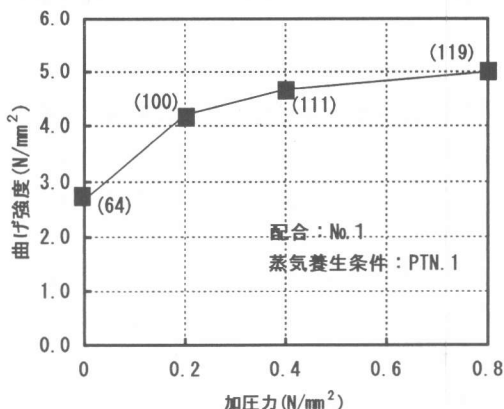


図-3 加圧力と曲げ強度の関係

3. 3 スランプと曲げ強度の関係

加圧力が0.2N/mm²と一定の場合におけるスランプ（単位水量）と曲げ強度の関係を図-4に示す。縦軸に材齢1日の曲げ強度、横軸にスランプ値とその時の単位水量を示した。

加圧成形コンクリートでは、スランプの違いが強度へ及ぼす影響は少ないものと判断される。これは、単位水量の多少に関わらず、加圧によって同程度の割合で自由水が絞り出され、水セメント比がほぼ同一となったためと推測される。

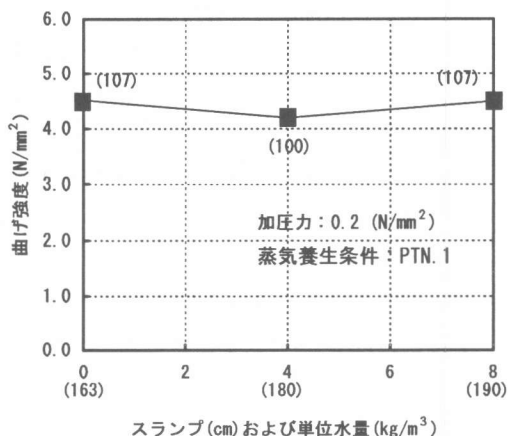


図-4 スランプと曲げ強度の関係

3. 4 空気量と曲げ強度の関係

加圧なしと加圧力が0.2N/mm²の場合における空気量と曲げ強度の関係を図-5に示す。縦軸に材齢1日の曲げ強度、横軸に空気量を示した。

一般的にAEコンクリートは、苛酷な蒸気養生を行うと硬化過程に組織がゆるみ、いわゆる「ふけ」の状態になる。しかし、3軸拘束状態では、エントレインドエアの膨張圧力によってプレス効果が増大し、逆に若干ながら強度増加の傾向がうかがえる。

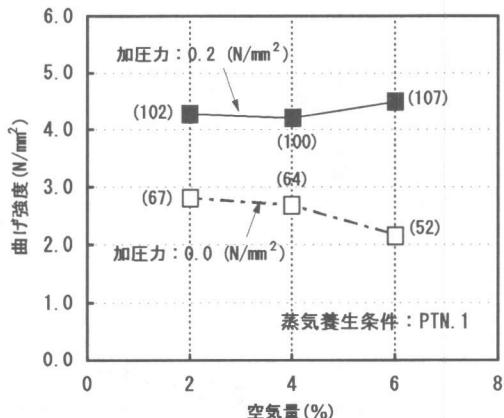


図-5 空気量と曲げ強度の関係

3. 5 前置き時間と曲げ強度の関係

図-6は、加圧力が0.2N/mm²と一定のとき、蒸気養生条件をPTN. 1, PTN. 2, PTN. 3と変化させ、

前置き時間について比較したものである。縦軸には材齢1日の曲げ強度、横軸には前置き時間を示す。

製品工場では前置き養生時間を3時間程度確保するのが一般的であり、これを極端に短縮することは、コンクリートの品質を低下させる原因となる。実際、拘束なしで前置きをとらずに蒸気養生を行ったところ、材齢1日における曲げ強度は 2.55N/mm^2 となった。ところが、3軸拘束状態にある加圧成形コンクリートでは、同じ養生条件でも曲げ強度が 3.90N/mm^2 と約53%高くなる。また、加圧力を加え、前置き時間を3時間確保したものと比較した場合には、その差が 0.9N/mm^2 しかなく、前置き時間の長さに比例して強度が増大する傾向が見られたものの、生じる曲げ強度の差は小さい結果となった。

3. 6 最高温度と曲げ強度の関係

加圧力が 0.2N/mm^2 の時、蒸気養生条件をPTN. 1, PTN. 4, PTN. 5とし、最高温度を変化させた場合の曲げ強度を図-7に示す。縦軸には材齢1日の曲げ強度、横軸には蒸気養生時の最高温度を示した。

ここでも同様に「ふけ」の状態は見られず加圧条件下では 90°C という高い温度条件においても強度の増進傾向が見られる。

3. 7 曲げ強度と材齢の関係

加圧力 0.2N/mm^2 で成形したコンクリートの脱型時(材料注型から4時間後)から材齢14日までの曲げ強度の伸びを図-8に示す。縦軸に曲げ強度、横軸には材齢を示した。

材齢1日の曲げ強度を100とした場合の各材齢における強度比は、脱型時で70、材齢14日で112となった。蒸気養生後は気中養生のため、材齢1日から14日までの強度の増加は少ないもの材料注型から4時間で 3.34N/mm^2 に達していることは、型枠回転率を向上させる大きな要因であり、効率的な製造が可能となる。

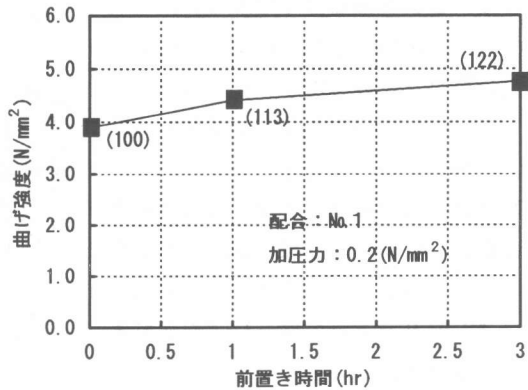


図-6 前置き時間と曲げ強度の関係

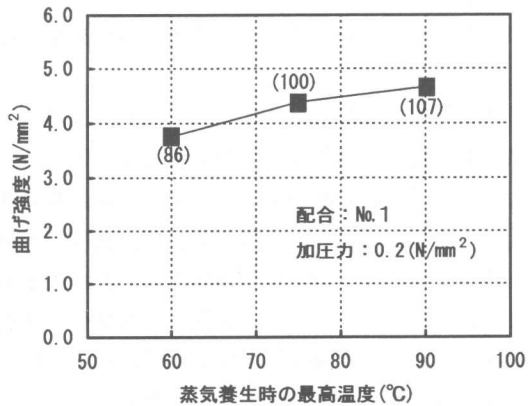


図-7 最高温度と曲げ強度の関係

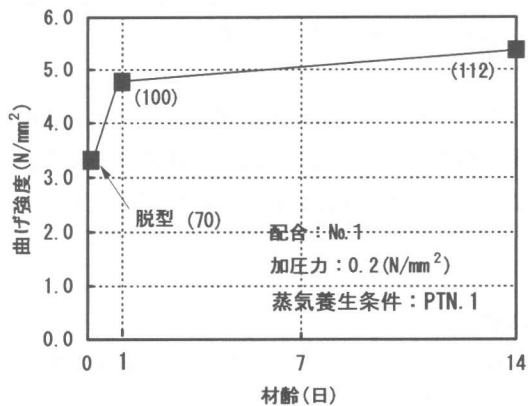


図-8 曲げ強度と材齢の関係

3. 8 圧縮強度と曲げ強度の関係

図-9に成形後の加圧力を変化させた場合の曲げ強度と圧縮強度を示す。縦軸には、材齢1日における曲げ強度および圧縮強度を示し、横軸には加圧力を示した。

圧縮強度と曲げ強度のグラフはほとんど平行に推移しており、同様の傾向を示していることが判る。また、これらの比率は、通常のコンクリートと同様、1/7程度であることが確認された。

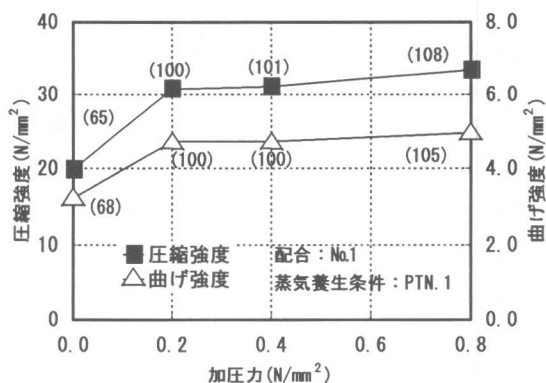


図-9 各加圧力下における曲げおよび圧縮強度

4. まとめ

一連の実験から確認および推測された事項を以下にまとめた。

- ① 供試体の内部圧力は、加圧後自由水の脱水にともなって減少するが、供試体が3軸拘束状態にあるため内部温度の上昇にともない0.14~0.18N/mm²程度まで再度圧力が増加する。
- ② 0.2N/mm²と比較的低い加圧力でも、同材齢の加圧しないコンクリートに対して曲げ強度が大きく増加することが確認され、圧縮強度でも同様の傾向が見られた。
- ③ 若干ではあるが空気量の増加に伴い曲げ強度も増大する傾向が見られた。これは、通常の流し込み成形コンクリートと異なり供試体が3軸拘束状態にあるため、蒸気養生中にエントレインドエアが膨張し加圧力が供試体に作用したためと思われる。
- ④ 加圧成形コンクリートでは、前置き時間を保持せず最高温度を90℃まで上昇させても、通常の流し込み成形コンクリートで見られる「ふけ」の状態には陥らず、逆に強度増進の傾向がうかがえた。
- ⑤ 材料注型から4時間で3.34N/mm²の曲げ強度が得られることから、型枠回転率を向上させる効率的な製造が可能となる。

おわりに、本報告では加圧成形コンクリートの強度性状のみについて報告したが、コンクリートの耐久性等については現在試験を継続中であり、次の機会に報告を予定している。これまでの試験では、加圧条件下において苛酷な蒸気養生を行っても耐久性の低下は認められていない。

参考文献

- [1] 国分正胤, 小林正凡, 比田 正: コンクリートの加圧養生に関する基礎研究、セメント技術年報、vol. 24, pp. 269-275、(1970)
- [2] 笠井芳夫, 松井 勇, 川崎三十四: コンクリートの加圧拘束高温蒸気養生、セメント技術年報、vol. 27, pp. 374-378、(1973)
- [3] 吉田徳次郎: 最高強度コンクリートの製造に就いて、土木学会誌、vol. 26、No.11, pp. 997-1006、(1940)