

# 論文 蒸気養生を行った加圧成形コンクリートの耐久性

大竹 淳一郎\*<sup>1</sup>・児玉 明彦\*<sup>2</sup>・新田 智博\*<sup>3</sup>・宮越 執\*<sup>4</sup>

**要旨**：本論文は、加圧拘束をしたまま苛酷な蒸気養生を行ったコンクリートの、耐久性状を検討したものである。検討項目は、乾燥収縮ひずみ、凍結融解抵抗性および促進中性化深さである。その結果、加圧成形コンクリートは、通常の蒸気養生を行ったコンクリートと比較して同等の耐久性を持つことが確認された。これは加圧成形することにより、苛酷な蒸気養生を施した際に起こる悪影響を低減し、通常のコンクリートと同様に高い耐久性を維持できることを示す。また、加圧せずに苛酷な養生を行ったコンクリートは、通常のコンクリートよりも劣る結果となった。

**キーワード**：加圧成形、蒸気養生、耐久性、コンクリート、二次製品

## 1. はじめに

コンクリートの養生を促進させる研究は、以前から行われており、蒸気養生やオートクレープ養生などがその例である。コンクリート二次製品では、早期の強度発現をねらい、蒸気養生が施されているのが一般的である。また最近では、養生期間を極端に短かくし、型枠の回転率をあげて、コストダウンを図っている例も多い。これらの促進養生は、養生温度を高くすることが最も近道と考えられるが、過度な蒸気養生温度は、逆にコンクリートに悪影響を及ぼすことが知られている。そこで、品質を保ちつつ生産効率のよい製造方法として、加圧成形コンクリートに着目し、その強度特性を確認したのは既報<sup>1)</sup>の通りである。

本研究は、前報に引き続き、加圧成形コンク

リートの耐久性状について検討したものである。測定は、乾燥収縮ひずみ、凍結融解抵抗性、気泡間隔係数、細孔径分布および促進中性化深さについて行った。

## 2. 使用材料

実験に用いたセメントは普通ポルトランドセメントで、その物理的性質を表-1に示す。また、粗骨材に茨城県岩瀬産砕石、細骨材に静岡県小笠産の陸砂を用いた。骨材の物性値を表-2に示す。なお、空気量調整剤として、アルキルカルボン酸化合物系のAE剤を用いた。

コンクリートの調合は、単位セメント量を400 kg/m<sup>3</sup>とし、目標スランプ4cm、目標空気量4%のAEコンクリートとした。

コンクリートの調合を表-3に示す。

表-1 セメントの物理的性質

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

\*1 秩父小野田(株)中央研究所 開発第12グループ研究員 (正会員)

\*2 秩父小野田(株)中央研究所 開発第12グループ研究員 (正会員)

\*3 ティビュー(株)技術研究所研究員 (正会員)

\*4 ティビュー(株)技術研究所研究員

表-2 骨材の物理試験結果

ふるいの呼び 寸法(mm) 骨材種類	各ふるいを通過する重量百分率(%)									表乾 比重	吸水率 (%)	粗粒率
	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

表-3 コンクリート調合

粗骨材の 最大寸法 (mm)	スラブ <sup>o</sup> (cm)	空気量 (%)	水セメント 比 (%)	細骨材 率 (%)	単 位 量 (kg/m <sup>3</sup> )				AE剤 C×wt%
					水	セメント	細骨材	粗骨材	
10	4	4	45	55	180	400	934	776	0.006

3. 試験

3-1 加圧成形方法

十分な剛性を持った10×10×40cm型枠に、テーブルパイププレートを用いてコンクリートを打設・締固め後、図-1に示す装置に設置した。次にこの型枠の上面から、加圧力に対して変形が生じない加圧板を介し、油圧ジャッキを用いてコンクリートを加圧した。載荷の際に、加圧板と型枠との隙間からの脱水による圧力低下が起るため、ロードセルで確認しながら、所定の圧力に設定した。なお、供試体の形状が保たれるように、加圧板と型枠とをボルトで拘束<sup>2)</sup>した後、蒸気養生を施した。

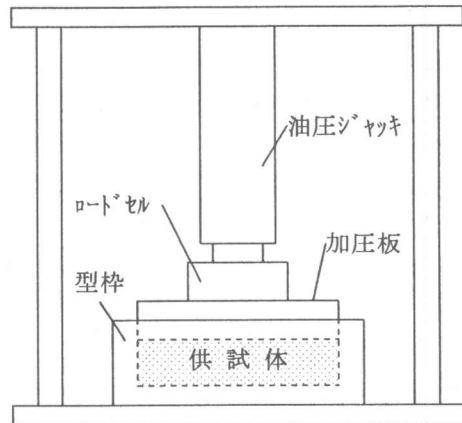


図-1 成形装置

3-2 供試体水準

本試験の供試体水準を表-4に示す。加圧成形コンクリート供試体として0N-75, 2N-75, 8N-75を作製し、また比較用の普通コンクリート供試体として0N-65を作製した。加圧成形コンクリートは、加圧力を0, 0.2, 0.8N/mm<sup>2</sup>と変化させ、図-2に示すパターンAにて、前置き・昇温勾配なしの苛酷な高温蒸気養生を施した。また、普通コンクリートは、パターンBに示す一般的な範囲の蒸気養生を施した。なおすべての供試体は、蒸気養生終了直後に脱型した。

表-2 供試体水準

供試体 No	加圧力 N/mm <sup>2</sup>	養生 PTN	前置 時間	最高 温度	保持 時間
0N-65	0	B	3hr	65°C	3hr
0N-75	0	A	なし	75°C	3hr
2N-75	0.2				
8N-75	0.8				

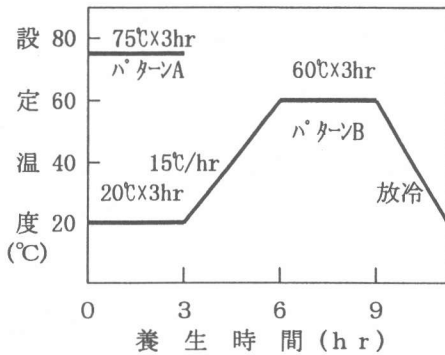


図-2 蒸気養生パターン

### 3-3 試験方法

#### (1) 乾燥収縮試験

供試体は脱型時に基長をとり、その後、温度20°C、湿度60% R.H. の恒温恒湿室に放置した。以後、JIS A 1129に準じ、材齢1, 7, 14, 28日, 2, 3, 8ヶ月, 1年における長さ変化および重量変化を測定した。

#### (2) 凍結融解抵抗性試験

供試体は、脱型後、2週間水中養生した後、ASTM C 666水中凍結水中融解法に準じ、相対動弾性係数を測定した。

#### (3) 気泡間隔係数測定

ASTM C 457 リニアトラバース法に準じ、気泡間隔係数の測定を行った。測定は供試体断面を上中下部に3分割して各々行った。なお測定は気中材齢2週間とした。

#### (4) 細孔径分布測定

水銀圧入法にて細孔径分布の測定を行った。試料は、供試体断面の周囲2 cm程度を取り除き、その範囲の中から、モルタル部のみを5 mm角で切り出した。なお測定は気中材齢2週間とした。

#### (5) 促進中性化試験

供試体は、脱型後、2週間気中放置した後、温度20°C、湿度60% R.H.、炭酸ガス濃度5%の恒温恒湿槽に放置し、材齢1, 2, 4, 13, 17, 26週で中性化深さを測定した。測定位置は打設面、左右側面、底面について各5個所とし、各面ごとに平均値をとった。

## 4. 結果および考察

### 4-1 乾燥収縮

図-3に乾燥収縮試験結果を示す。グラフより各供試体の乾燥収縮ひずみは、材齢1年でほぼ収束しており、その値は、2N-75と8N-75では $5.3 \sim 5.5 \times 10^{-4}$ 、0N-75と0N-65では $6.7 \sim 6.8 \times 10^{-4}$ 程度と加圧の有無による差が明確に現れた。また、加圧力の大きさによる差も認められる。これらの傾向から、加圧成形は乾燥収縮に有効であり、その圧力が大きくなる程、収縮が小さくなる事が分かる。その主な要因として、加圧の際の型枠と加圧板との隙間からの脱水による、コンクリート中の単位水量の低減が考えられる。

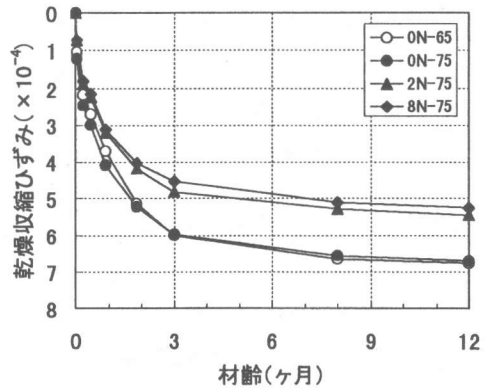


図-3 乾燥収縮試験結果

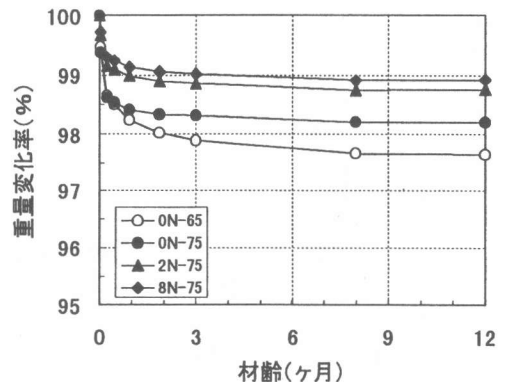


図-4 重量変化

図-4に示す重量変化率のグラフによると、加圧力が増加するに従って重量変化率が減少しており、このことは前記の結果を裏付けるものと考えられる。

#### 4-2 凍結融解抵抗性

図-5に凍結融解試験の結果を示す。加圧成形供試体は、2N-75、8N-75ともに300サイクル終了時でも、供試体表面に多少のスケーリングを起こした程度で、0N-65同様に高い抵抗性を見せた。しかし、0N-75は300サイクル終了時で相対動弾性係数60%を上回ったものの、他の供試体と比較すると低い値を示した。これは、前置き・昇温勾配なしに、高温で蒸気養生を行ったため、コンクリートが膨張し、供試体内部の組織が粗くなったためと思われる。しかし、それほど損傷を受けずに済んだのは、AE剤により連行空気を添加していたためと思われる。

以上より、加圧成形コンクリートは、加圧することによって、熱によるコンクリートの膨張を抑え、緻密な構造を保持できるため、凍結融解に対しての抵抗性が高いものと思われる。また、加圧力の大きさによる違いはほとんどなく、低圧でも耐凍害性に十分な効果を表す。

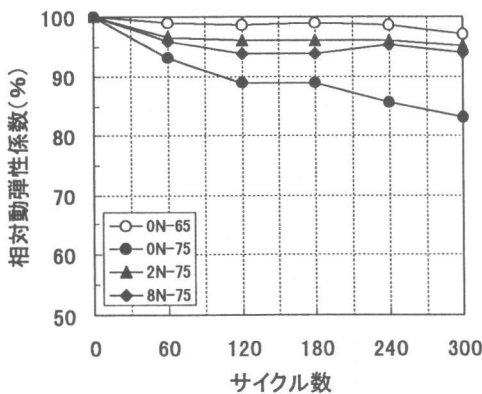


図-5 凍結融解試験結果

#### 4-3 気泡間隔係数

コンクリートに耐凍害性を持たせるには、A

E剤によってエントレインドエアを連行させ、毛細管空隙内の水分の凍結による体積膨張を緩和させることが最も有効である。ただし、この気泡は径が小さく、よく分散されている必要がある。すなわち、空気の量よりも気泡どうしの間隔が小さいことが重要である。本試験は、これらの微細構造と耐凍害性との関連性を把握することを目的に行った。

表-5に気泡間隔係数と空気量の試験結果を示す。表より気泡間隔係数は、各水準とも概ね250 $\mu$ m前後である。これは、一般的に耐凍害性の高いコンクリートの気泡間隔係数は、200 $\mu$ m以下とされていることから、凍結融解に対する抵抗性が比較的良好であったことを裏付けている。また気泡間隔係数は、加圧力の増加に伴って、小さくなる傾向が見られるが、これらに間に相関性があることは考えにくい。

一方、空気量に関しては、2N-75、8N-75はフレッシュ時の4.0%を下回っているのに対し、0N-75の空気量は平均5.82%と大きく上回っている。また0N-75と同じ成形方法である0N-65は、フレッシュ時と同量であることから、これら

表-5 気泡間隔係数試験結果

水準	部位	空気量 (%)	気泡間隔係数 ( $\mu$ m)	平均値 ( $\mu$ m)
0N-65	上	3.65	288	276
	中	4.33	289	
	下	3.81	250	
0N-75	上	6.29	278	268
	中	6.24	300	
	下	4.94	226	
2N-75	上	2.56	229	250
	中	3.43	294	
	下	2.81	226	
8N-75	上	2.10	158	185
	中	2.26	183	
	下	1.91	216	

の空気量の差異は、加圧の有無または蒸気養生方法の違いにより生じるものと思われる。特に加圧拘束なしに急激な養生を施すと気泡が膨張し<sup>3)</sup>、拘束のない打設面にはふけが生じる。これが耐久性に最も悪影響を及ぼすものであると考えられ、加圧成形は、このような苛酷な蒸気養生で発生するふけを抑え込み、凍害劣化を抑制する効果がある。

#### 4-4 細孔径分布

気泡間隔係数と同様にコンクリートの微細構造を把握する方法として、細孔径分布の測定がある。これまでの研究<sup>4)</sup>によると、コンクリートの耐凍害性に対して、欠点となる細孔半径は、750~7500Å (直径0.15~1.5μm) とされ、この範囲の空隙が多いと耐凍害性に劣るといわれている。

図-6に加圧成形コンクリートの細孔径分布を示す。グラフより、上記の範囲の空隙は、ON-75, 2N-75, 8N-75の順に多いことが分かり、特にON-75は、他の供試体に比べ、耐凍害性に劣る結果を裏付けることが出来る。

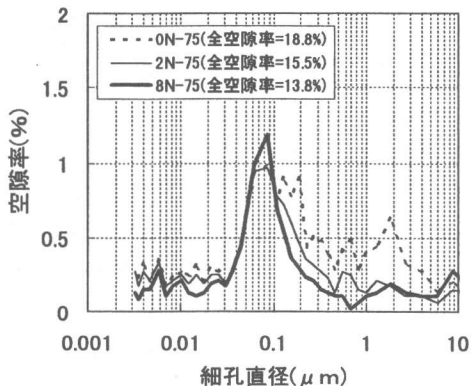


図-6 細孔径分布

#### 4-5 促進中性化深さ

図-7から図-10に各供試体の促進中性化試験の結果を示す。図-8より、ON-75は他のコンクリートに比べ、中性化が大きく進んでいる

ことがわかる。材齢26週時には、全断面積の3/4程度が中性化した。これは前記のふけにより、コンクリートの構造が粗なものになったため、容易に内部までCO<sub>2</sub>にさらされたためと思われる。しかし、底面はあまり中性化しておらず、他の3体と同等である。これは、底面部は上部のコンクリートによりある程度押さえつけられているため、気泡の膨張が起こりにくく、コンクリート組織が乱されずに済んだことが要因と考えられる。このことは、表-5に示すON-75の空気量の結果からも、下部は上中部よりも気泡が膨張し難かったことが伺える。

また、図-9, 図-10より、加圧成形コンクリートの中性化に対する抵抗性は、普通コンク

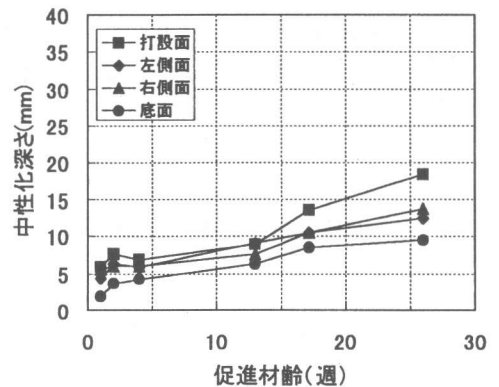


図-7 促進中性化試験結果 (ON-65)

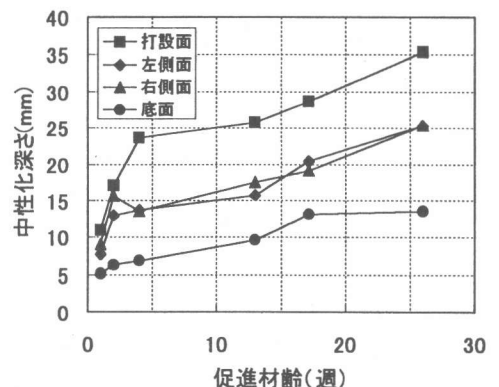


図-8 促進中性化試験結果 (ON-75)

リートと同等以上の性能を持ち、かつすべての面がほぼ同じ値を示していることが分かる。これは、加圧拘束により、中性化に対する高い抵抗性が、すべての面に均一に形成されたためと思われる。また、加圧力の大きさによる違いはあまり見られなかった。それに対しON-65は、側面、底面はほぼ同じ値を示すが、打設面は、ブリーディングやコテ仕上げの影響を受けるため、最も中性化する傾向を示した。

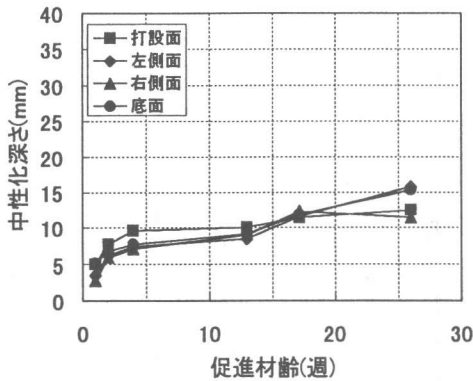


図-9 促進中性化試験結果(2N-75)

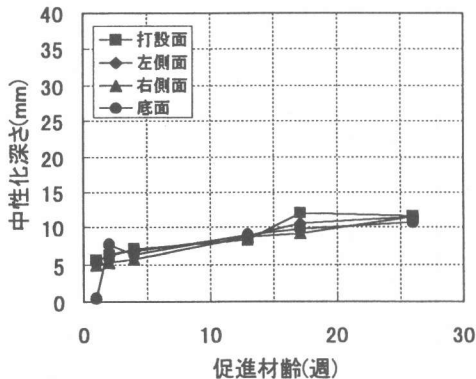


図-10 促進中性化試験結果(8N-75)

## 5. まとめ

本研究を通して、以下のような結論を得た。

- 1) 加圧成形を行うことにより、加圧なしに苛酷な蒸気養生を施したコンクリートと比べて、

大きな耐久性の向上がみられた。これは通常の蒸気養生をしたコンクリートと比べても、同等の性能が得られた。

- 2) 加圧拘束なしに苛酷な蒸気養生を行うと、コンクリート中の空隙の膨張により、内部組織が粗くなり、耐久性が著しく低下する。
- 3) 加圧成形は、コンクリート組織をより緻密にするため、上記2)の悪影響を緩和するものと思われる。
- 4) 乾燥収縮や中性化において、加圧力の高い方が良い結果が見受けられたのは、より多くの余剰水が絞り出されたためと思われる。
- 5) 加圧力の増加に伴う耐久性の向上は、あまり顕著なものではなかった。また、高い加圧力による実製品の製造は、あまり現実的とは思えない。よって、加圧成形における加圧力は、 $0.2\text{N/mm}^2$ 程度の低圧が、製造コスト、耐久性を考慮した場合、最も効率的と思われる。

## 参考文献

- 1) 新田智博ほか：蒸気養生を行った加圧成形コンクリートの強度特性，コンクリート工学年次論文報告集，Vol. 19, No. 1, pp. 637-642, 1997
- 2) 岡田 清ほか：コンクリートの加圧養生に関する2, 3の実験，セメント技術年報，Vol. 17, pp. 281-283, 1963
- 3) 大森淑孝，河野俊夫：蒸気養生コンクリートの耐久性におよぼす諸要因の影響，セメント技術年報，Vol. 40, pp. 431-434, 1986
- 4) 鎌田英治：セメント硬化体の微細構造とコンクリートの凍害，コンクリート工学，Vol. 1. 19, No. 11, pp. 36-42, 1981