

[1026] 高強度コンクリートの力学的性質・耐久性に関する研究

正会員 加藤 武彦 (熊谷組技術研究所)  
 正会員 佐藤 孝一 (熊谷組技術研究所)  
 正会員 ○渡部 聡 (熊谷組技術研究所)  
 正会員 河口 俊郎 (熊谷組技術研究所)

1. はじめに

近年、超高層鉄筋コンクリート建築物を対象とした設計基準強度360Kg/cm<sup>2</sup>以上の高強度コンクリートの実用化研究が種々行われており、その施工性・物性についてもいくつかの報告がなされている。一方、高強度コンクリートを実際の構造物に適用する場合には強度確保のみならず、構造物の耐久性を確保するための品質・性能も重要となってくるが、それらについての研究は十分になされているとは言えない。そこで、本研究では、設計基準強度360~420Kg/cm<sup>2</sup>クラスの高強度コンクリートについてその力学的性質および耐久性を明らかにすることを目的として種々の実験・検討を行った。なお、耐久性については、透水型枠(テキスタイルフォーム)を使った実験も行い高強度コンクリートの品質向上効果の検討を行った。

2. 実験概要

実験に用いた材料を表1に、コンクリートの調合を表2に示す。実験Aは、基本となるC/W-σ曲線作成とワーカビリティを見るために行い、実験Bは、物性値及び耐久性を把握するために行った。また、実験Cでは、実際の柱部材を想定した柱状試験体を合板型枠、テキスタイルフォームを用いてそれぞれ作製し、採取したコアサンプルで物性値・耐久性の比較を行った。

コンクリートは流動化コンクリートとし、その目標スランプはベーススランプで12±2.5cm、流動化後18±2.5cmとした。また、目標空気量はすべて4±1%とした。

各実験の試

表1 使用材料

実験項目、試験 材令、供試体 形状、養生方 法、試験方法	材料	摘要
	セメント	普通ポルトランドセメント 比重=3.16
	細骨材	千葉産山砂(細砂) 比重=2.58 FM=3.47 混合比 細砂:粗砂 相模川産川砂(粗砂) 比重=2.65 FM=1.46 3:7
	粗骨材	八王子産砕石 G <sub>max</sub> =20mm 比重=2.66 FM=6.66

を表3に示す。

表2 コンクリートの調合

記号	W/C (%)	S/A (%)	単体量 (Kg/m <sup>3</sup> )				混和剤 *1				
			C	W	S	G	ベース			流動化 剤	
							A E減 水剤	高性能 減水剤	補助A E剤		
実験A	A-45	45	42	378	170	739	1035	350	---	1.5A	250
	A-38	38	40	447	170	684	1035	350	250	2.5A	200
	A-33	33	38	515	170	626	1035	350	550	1.0A	170
実験B	B-48	48	43	354	170	760	1035	350	200	1.0A	600
	B-43	43	41	395	170	724	1035	350	350	2.0A	490
	B-39	39	40	436	170	692	1035	350	490	2.0A	400
実験C	C-43	43	41	395	170	724	1035	350	350	2.5A	380

注\*1 混和剤の使用量: A E減水剤, 高性能減水剤, 流動化剤はセメント 100Kg当たりの使用量(CC), 補助A E剤の使用量 1A=C×0.002%

表3 各実験の試験内容一覧

試験項目	試験材令	供試体形状	養生方法	試験方法	実験種別			
					A	B	C	
スランプ及び空気量	スランプ	—	—	J I S A 1101, 1128に準拠	○	○	○	
	単位体積重量	—	—	J I S A 1116に準拠	○	○	○	
	ブリージング	—	—	J I S A 1123に準拠	○	○	○	
硬化コンクリートの物性	圧縮強度、ヤング率及びポアソン比	3,7,28,56,91日	標準 100φx200 コア 100φx100	20°C水中	J I S A 1108 (標準) J I S A 1107 (コア) に準拠	○	○	○
	割裂引張強度	28,91日	100φx200	20°C水中	J I S A 1113に準拠	○	○	○
	曲げ強度	28,91日	100x100x400	20°C水中	J I S A 1106に準拠	○	○	○
	付着強度	28,91日	D25 (S D35) 150x150x150	20°C水中	A S T M法に準拠 (C234-71)	○	○	○
	せん断強度	28,91日	100x100x100	20°C水中	J I S 原案			○
	線膨張係数	28日で実施	100x100x400 全面ハマタイト 塗布	材令28日まで 20°C水中	埋込型ひずみ計を試験体に埋込み温度可変養生槽内の温度を変化させて測定		○	
	圧縮クリープ	28日から6ヵ月	100φx200 側面xx*fn-ハマタイト 塗布	材令28日まで 20°C水中	J I S 原案		○	
	乾燥収縮	7日から6ヵ月	標準 100x100x400 コア 100φx50	7日まで20°C水中 以降20°C60%RH	J I S A 1129に準拠	○	○	○
	表面強度	7,28,91日	—	—	シュミットハンマーによる			○
	耐化コンクリートの	促進中性化	28日から1, (2), 3,6ヵ月	標準 100φx200 コア 100φx100 側面, 底面xx*fn, ハマタイト 塗布	材令28日まで20°C水中以降40°C40%RHCo.10%	中性化促進試験槽内に試験体を保存フェノールフタレイン法により中性化深さ測定		○
凍結融解		28日から30サイクル* 7300サイクル*まで	標準 100x100x400 コア 100φx200 側面, 底面xx*fn, ハマタイト 塗布 (コアフタ*)	材令28日まで 20°C水中	J I S 原案		○	○

3. 実験結果と考察

3.1 圧縮強度 材令と圧縮強度の関係を図1に、セメント水比と圧縮強度の関係を図2に示す。圧縮強度は、水セメント比33%の場合、材令28日で691Kg/cm<sup>2</sup>に達している。また各調合の材令28日強度に対する材令7日強度の比は、70~83%となっており、その比はW/Cが小さくなるに従って大きくなる傾向にある。一方、材令28日強度に対する材令91日強度の比は、110~120%となっており、その比はW/Cが小さくなるに従って小さくなる傾向にある。すなわち、W/Cが小さくなると初期の強度発現は大きくなるが、長期の強度の伸び率は小さくなる。

実験Cにおける20°C水中養生と現場封かん養生供試体及びコア抜き供試体の材令と強度の関係を図3に示す。20°C水中養生と現場封かん養生（平均養生温度21°C）の強度を比較すると

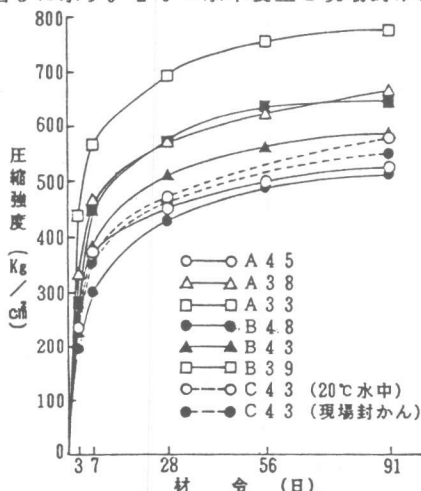


図1 材令と圧縮強度の関係

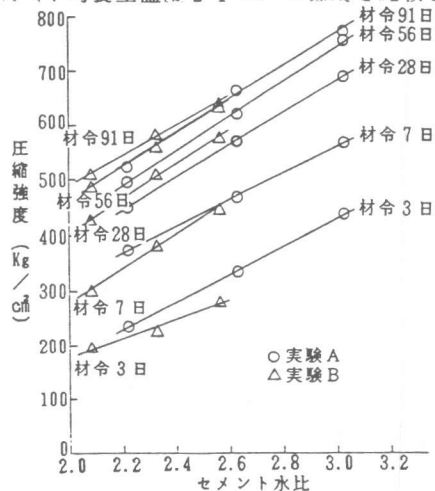


図2 セメント水比と圧縮強度の関係

材令28日ではほとんど差がなく、材令91日で現場封かん供試体の方が5%程度低くなっている。コア抜き供試体と20℃水中及び現場封かん供試体の強度を比較すると、材令28日ではその差はほとんどなく、材令91日では20℃水中に比べ10%、現場封かんに比べ6%程度低い値となっている。

3.2 ヤング率 各実験で求めた圧縮強度とヤング率の関係を図4に示す。図中の曲線は、日本建築学会「鉄筋コンクリート構造計算規準」に示された圧縮強度及び気乾重量 $\gamma = 2.38$ を代入して求めたものである。この図によれば、300 Kg/cm<sup>2</sup>以上のコンクリートのヤング率の実測値はほとんど計算値を下回る結果となっている。

3.3 ポアソン比 各実験で求めた圧縮強度とポアソン比の関係を図5に示す。圧縮強度300～800 Kg/cm<sup>2</sup>の範囲で、ポアソン比は0.13～0.23の範囲にある。

3.4 割裂引張強度 実験A, Bで求めた圧縮強度と割裂引張強度の関係を図6に示す。割裂引張強度の値は、圧縮強度400～800 Kg/cm<sup>2</sup>の範囲で圧縮強度の1/12～1/16の範囲にあり、割裂引張強度の圧縮強度に対する比率は、高強度になるほど小さくなっている。

3.5 曲げ強度 実験A, Bで求めた圧縮強度と曲げ強度の関係を図7に示す。曲げ強度の値は、圧縮強度400～800 Kg/cm<sup>2</sup>の範囲で圧縮強度の

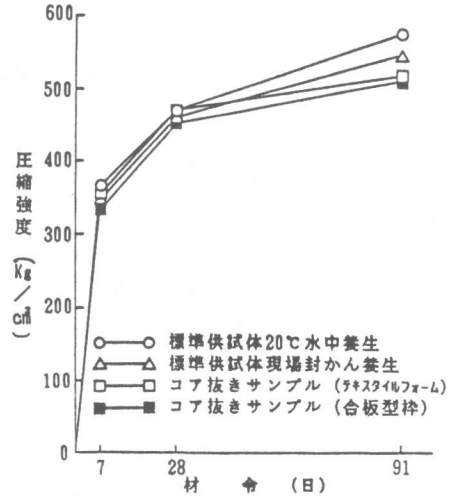


図3 コア抜き試験体の材令と圧縮強度の関係

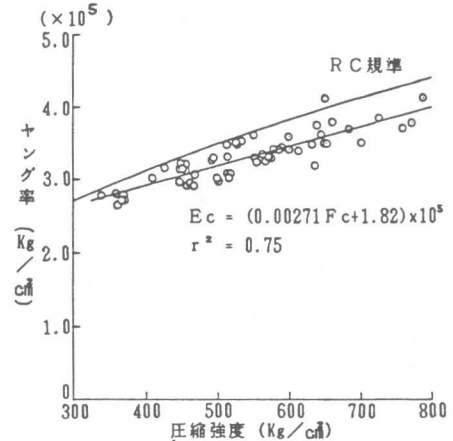


図4 圧縮強度とヤング率の関係

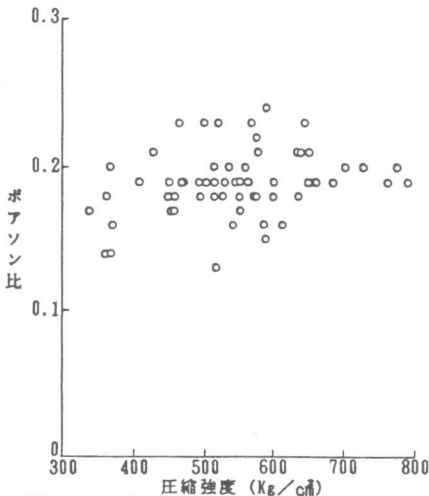


図5 圧縮強度とポアソン比の関係

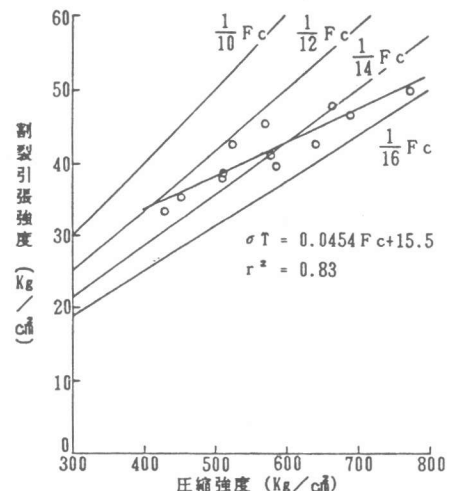


図6 圧縮強度と割裂引張強度の関係

1/8 ~ 1/10 の範囲にあり、曲げ強度の圧縮強度に体する比率は高強度になるほど小さくなっている。

3.6 附着強度 実験Bで求めた圧縮強度と附着強度の関係を図8に示す。附着強度の値は圧縮強度400~650 Kg/cm<sup>2</sup>の範囲で圧縮強度の1/2.5~1/3の範囲にあり、附着強度の圧縮強度に対する比率は高強度になるほど小さくなっている。

3.7 せん断強度 実験Bで求めたせん断強度の破壊包絡線及び近似式を図9に、せん断母強度と圧縮強度の関係を図10に示す。せん断母強度の値は、圧縮強度300~600 Kg/cm<sup>2</sup>の範囲で圧縮強度の1/3.5~1/5の範囲にあり、せん断母強度の圧縮強度に対する比率は高強度になるほど小さくなっている。

3.8 線膨張係数 実験Bで求めた線膨張係数を表4に示す。線膨張係数の値は、水セメント比による違いはほとんど見られず  $1 \times 10^{-5}$  程度である。

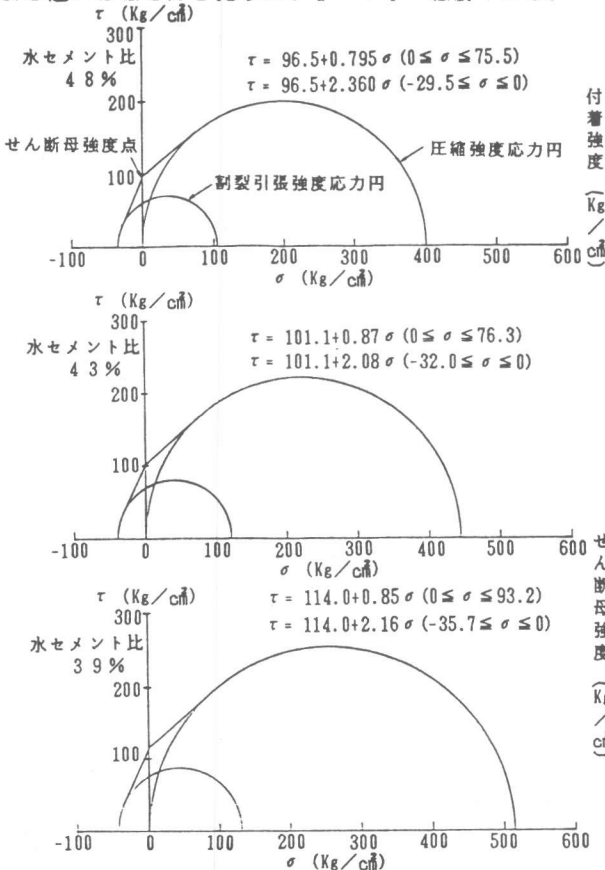


図9 せん断強度の破壊包絡線及び近似線式

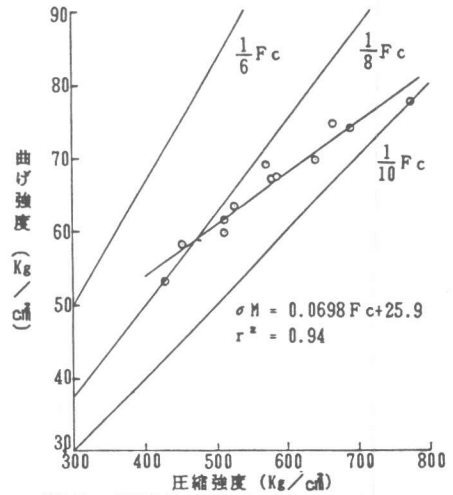


図7 圧縮強度と曲げ強度の関係

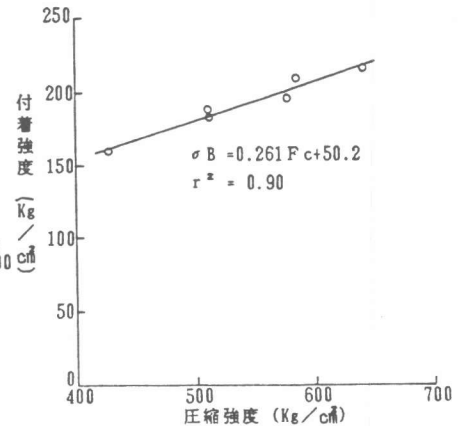


図8 圧縮強度と附着強度の関係

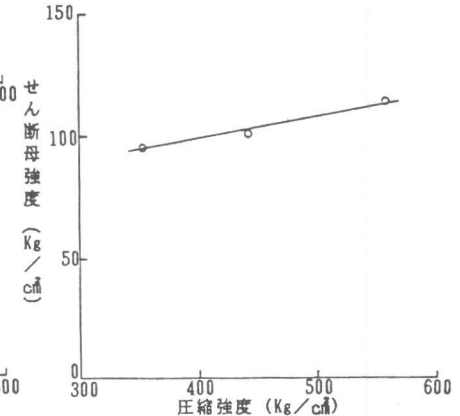


図10 圧縮強度とせん断母強度の関係

3.9 クリープ係数 実験Bで求めた荷重日数とクリープ係数の関係を図11に示す。荷重日数195日でのクリープ係数は2.2~2.5程度であり、水セメント比による大きな差は見られない。これは、クリープ特性に影響を与える単位セメント量が、普通コンクリートに比べ多いことによるものと思われる。

表4 水セメント比と線膨張係数

水セメント比 (%)	線膨張係数 ( $\times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ )
4.8	1.04
4.3	1.04
3.9	1.05

3.10 乾燥収縮 各実験で求めた乾燥日数と長さ変化率の関係を図12に示す。実験A, Bでは、水セメント比の違いによる大きな差は見られない。実験Cは、柱状試験体からコア抜きした供試体 ( $\phi 100 \times h 50$ ) の直径方向の長さ変化を計測したもので供試体形状が異なるため他のデータとは直接比較することはできないが、テキスタイルフォームを使用することにより乾燥収縮はやや小さくなるようである。

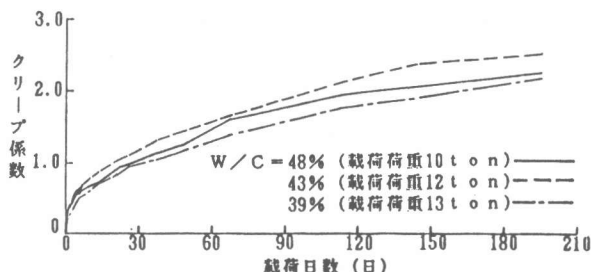


図11 荷重日数とクリープ係数の関係

3.11 表面強度 実験Cにおけるシュミットハンマー試験による柱状試験体表面硬度の測定結果を図13に示す。テキスタイルフォームを使用した試験体の推定表面強度は、合板型枠試験体に比べ若材令時、長期材令時いずれにおいても高い値を示している。その強度比は、材令7日で1.5倍、材令28日で1.4倍、材令91日で1.17倍となっ

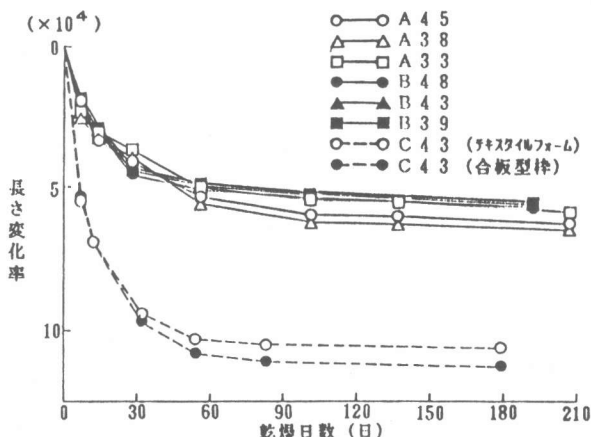


図12 乾燥日数と長さ変化率の関係

ており、テキスタイルフォームによる余剰水排水がコンクリート表層部の硬化体組織を緻密化させるのに大きな効果を有していると判断できる。テキスタイルフォームを使用した柱状試験体の材令7日の推定表面強度は、合板型枠を使用した柱状試験体の材令28日の推定表面強度を十分に上回っていることから、テキスタイルフォームを使用することにより脱型時期を早められる可能性がある。

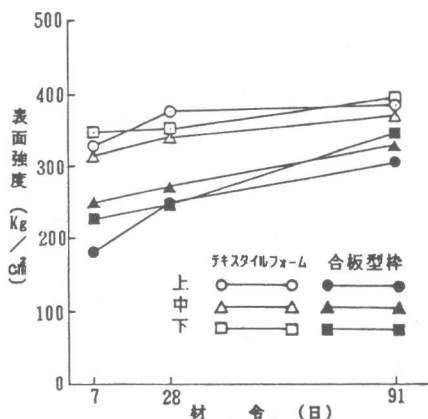


図13 材令と表面強度の関係

3.12 中性化深さ 実験B, Cで求めた中性化促進試験結果を図14に示す。実験Bでは、水セメント比により中性化深さに差がみられる。その傾向は、水セメント比が小さいほど中性化速度は遅く

なっている。実験Cでは、テキスタイルフォームを使用した表層コンクリートは、合板型枠を使用した試験体のそれに比べ、材令28日で1/5と中性化の進行は著しく遅くなっており、長期材令においても両者の差は変わらない。

3.13 凍結融解抵抗性 実験Bで求めた凍結融解試験結果を図15に、実験Cで求めた結果を図16に示す。いずれの水セメント比においても300サイクル終了時の相対動弾性係数は90%以上となっている。この値は、JASS5.17節高耐久性コンクリートに示されている凍結融解300サイクル終了時の相対動弾性係数70%以上を十分に満足している。実験Cでは、コア抜きした供試体を用いているので、たわみ振動測定が難しい。そこで、試験結果の評価は、表層部からの劣化現象を損傷度合で判別することにした。その結果、合板型枠を使用したものは、コンクリートの表層部のほとんどにスケーリングや角部の欠け落ちが目立つのに対し、テキスタイルフォームを使用したものは、それらの現象は認められず、300サイクルを経ても健全性を保持していた。

4. 結論

- ① 柱状試験体の躯体強度は、標準供試体に比べて大きな低下は見られない。
- ② 圧縮強度に対する各種強度の比率は、圧縮強度が大きくなるに従い小さくなる。
- ③ 線膨張係数、クリープ係数、乾燥収縮等は、水セメント比による違いはあまり見られない。
- ④ 高強度コンクリートは、富調合となるため、通常強度範囲のコンクリートに比べ耐久性は向上する。また、テキスタイルフォームを用いた試験体の表層部は若材令時から高い強度を示し、合板型枠に比べ、中性化、凍結融解に対する耐久性が格段に向上する。

参考文献：池田 弘「テキスタイルフォーム工法—布

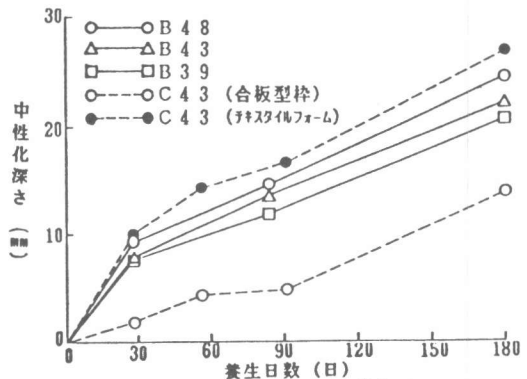


図14 養生日数と中性化深さ

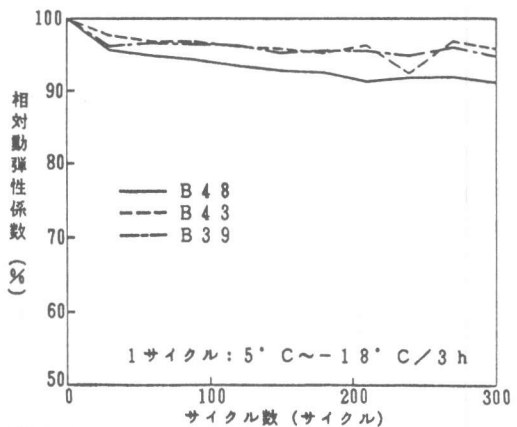


図15 サイクル数と相対動弾性係数の関係

評価基準

損傷度合	評価点
正常	0
表層部微細クラック	1
表層部スケーリング 及び角部の欠け落ち	2
崩壊	3

位置	合板型枠			テキスタイルフォーム		
	1	2	3	1	2	3
上	_____	_____	_____	_____	_____	_____
中	_____	_____	_____	_____	_____	_____
下	_____	_____	_____	_____	_____	_____

図16 凍結融解試験の損傷度評価結果

張り型枠を使用したコンクリート」建築東京 VOL-22, N0262, 1986年 8月

：町田 亘寛, 田中 健治郎ほか「繊維型枠 (テキスタイルフォーム) 工法によるコンクリート品質向上に関する研究」日本建築学会大会学術講演梗概集, 1986年 8月