

論文

[1103] 長期加熱を受けた鉄筋コンクリートばりのせん断性状に関する研究

正会員 ○丸田 誠 (鹿島建設技術研究所)

正会員 山崎 敏敏 (鹿島建設技術研究所)

1. はじめに

高温を長期間受ける鉄筋コンクリート部材(以下RC部材と略す)の実験データは少ない。特にせん断性状を把握する目的で行ったRC部材の実験は殆ど無いのが現状である。

筆者らは、175℃を長期間受けたRCばりの曲げ耐力実験をすでに行っており<sup>1)</sup>、引き続きせん断実験を行ったので報告する<sup>2)</sup>。

本報告では、高温(65℃, 90℃, 175℃)を片面(下面)から受けるRCばりの長期加熱(1ヶ月、3ヶ月、6ヶ月、12ヶ月)を行った後のせん断耐力実験を行い、長期加熱を受けたRC部材のせん断性状に関するデータを得ることを目的とする。

2. 試験体

試験体の形状・寸法を図-1に示す。

試験体の断面は、はりせいを400mm、はり幅を200mmとした。主筋は片側D22(SD35)2本とし、複筋比を1.1%とした。肋筋にはD6(SD30)を試験部分には120mmピッチで、非試験部分には90mmピッチで配筋し、試験部分の肋筋比を約0.3%とした。

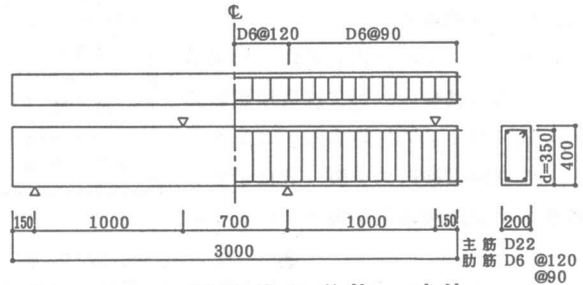


図-1 試験体の形状・寸法

試験体の加熱によるコンクリートの劣化性状を把握するため、せん断試験体と同断面を持つコア採取用の無筋コンクリート試験体も同時に制作した。コア(10φ×20cm)採取用試験体の形状・寸法を図-2に示す。

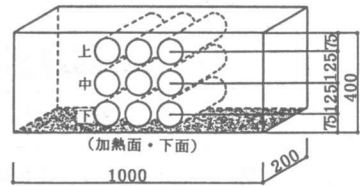


図-2 コア採取用試験体の形状・寸法

3. 実験方法

長期加熱状況を写真-1に、加熱方法を図-3に示す。試験体は下面及び側面を銅板で覆い上面以外の水分の逸散を防止した。



写真-1 長期加熱状況

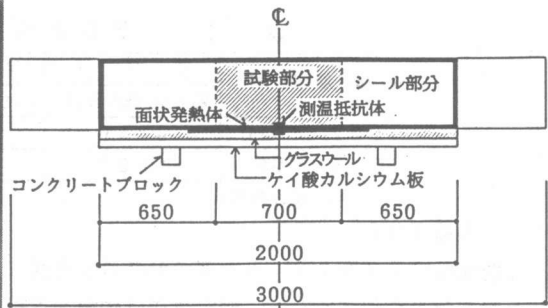


図-3 加熱方法

長期加熱時には、加力を行わず、加熱終了後温度を室温に戻し、せん断耐力実験を行った。せん断耐力実験方法を図-4に示す。加力は逆対称単調載荷で、変形は支点間の相対変形を測定した。実験（加熱）開始は、コンクリート打設後4ヶ月間養生してから行った。

#### 4. パラメータ

パラメータとしては①加熱温度（65℃、90℃、175℃）と②加熱期間（加熱開始後0、1、3、6、12ヶ月）とし、その組み合わせを表-1に示す。試験体総数はRCばり、コア採取用それぞれ9体である。

#### 5. 材料試験結果

コンクリートの調合表を表-2に示す。せん断試験体、コア採取用試験体とも同一バッチで打設した。コンクリートの材料試験結果を表-3に示す。鉄筋の材料試験結果を表-4に示す。

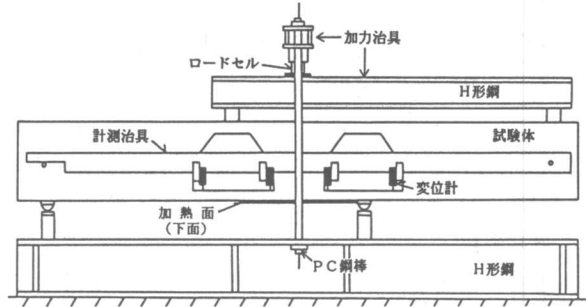


図-4 せん断耐力実験加力方法

表-1 パラメーター一覧 (RCばり、コア共通)

加熱期間 加熱温度	加熱開始時 (0ヶ月)	1ヶ月	3ヶ月	6ヶ月	12ヶ月
無加熱	○ (F-0)	—	—	—	○ (F-12)
65℃	—	○ (L-1)	○ (L-3)	○ (L-6)	○ (L-12)
90℃	—	—	○ (M-3)	—	○ (M-12)
175℃	—	○ (H-1)	—	—	—

表-2 コンクリート調合表

W / C (%)	S / a (%)	スラブ (cm)	空気量 (%)	単 位 量 (上段: kg/m <sup>3</sup> : 下段: ℓ/m <sup>3</sup> )				
				水	*1 セメント	*2 細骨材	*3 粗骨材	*4 AE減水剤
55.0	44.7	15	4	165	300	814	1045	0.75
					95	313	387	—

\*1 普通ポルトランドセメント \*2 上野原・佐原産山砂(混和)  
\*3 秩父産砕石(石灰岩) \*4 ポゾリスNo.70

表-3 コンクリート圧縮強度一覧

期 間	28日標水	28日封緘	加熱開始時封緘 (材令4ヶ月)	終了時封緘 (材令6ヶ月)
圧縮強度(kgf/cm <sup>2</sup> )	271	249	323	368
ヤング係数(×10 <sup>5</sup> kgf/cm <sup>2</sup> )	2.52	2.47	2.68	2.76

表-4 鉄筋の引張試験結果一覧

鉄筋種別	降伏点	引張強度	伸び率 (%)
	応力度(kgf/cm <sup>2</sup> )	応力度(kgf/cm <sup>2</sup> )	
D22(SD35)	3880	5830	22.0
D6(SD30)	3800	5310	— *1

\*1 標点外破断

#### 6. 内部温度分布

長期加熱時のコンクリート内部の温度分布を図-5にまとめて示す。測定は試験体内部に設置した熱電対C線で行った。測定位置は加熱面近傍とコア採取位置とした。65℃、90℃、175℃とも内部温度は加熱面より高さ方向に、ほぼ直線分布していることが分かる。

試験体の長期加熱を行った場所は、寒暖の差の少ない地下室とした。内部温度は12ヶ月を通して夏と冬でも殆ど差異は見られなかった。

## 7. 実験結果

### (1) 65℃加熱せん断実験

加熱開始時の無加熱（材令4ヶ月）の実験（F-0）結果と、加熱1, 3, 6, 12ヶ月の実験（L-1, 3, 6, 12）結果の比較を行う。

各実験結果の荷重-変形関係を図-6に示す。破壊経過は各試験体ともほぼ同じで、まず試験体に曲げひび割れが入り剛性が若干低下し、次に曲げせん断ひび割れが入る。その後も剛性が徐々に低下し、せん断ひび割れが入りさらに変形が進む。最終的には、試験部分のせん断補強筋（肋筋）が降伏した後にコンクリートがせん断圧縮破壊し、終局に至る。

ひび割れの数、最終状況等は、無加熱及び65℃加熱の試験体間では差異が見られず、すべて同程度であった。

荷重-変形関係からは、加熱の有無、12ヶ月の加熱期間では試験体間の結果に大きな差異は見られず65℃加熱の場合、せん断性状の変化は認められなかった。

### (2) 90℃, 175℃加熱せん断実験

加熱開始時の無加熱（材令4ヶ月）の実験（F-0）結果と、90℃3ヶ月、12ヶ月加熱の実験（M-3, 12）結果及び175℃1ヶ月加熱実験（H-1）結果の比較を行う。各実験結果の荷重-変形関係を図-7に示す。終局までの破壊経過は各試験体とも同じで(1) 65℃加熱せん断実験結果と同様であった。

荷重-変形関係より、無加熱のF-0では終局強度が31.2tfあったのに対し、90℃3ヶ月のM-3では29.4tf、90℃12ヶ月のM-12では25.1tfと終局強度が加熱期間に比例して低下した。特に、M-12では、せん断ひび割れ発生荷重、及びひび割れ発生後の剛性等の諸現象がF-0に比べ小さくなっており加熱によりコンクリートが劣化していることが分かる。175℃1ヶ月のH-1でも、終局強度が26.6tfとF-0に比べ約15%の強度低下が認められた。せん断ひび割れ発生後の剛性もF-0に比べるとH-1ではかなり小さい。

参考としてF-0, M-3, M-12の最終ひび割れ状況を図-8に示す。F-0はせん断圧縮

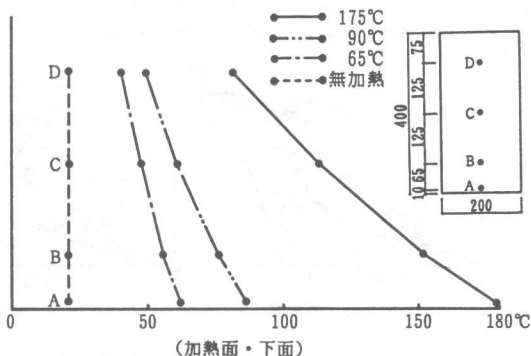


図-5 内部温度分布（秋季）

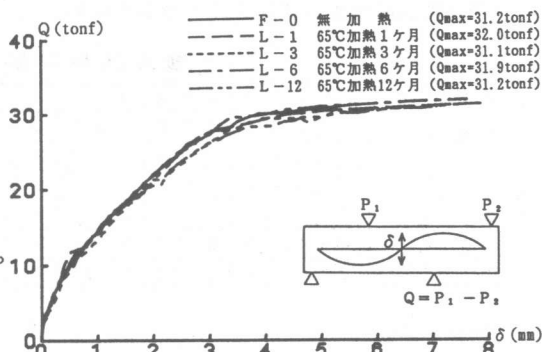


図-6 荷重-変形関係  
(無加熱, 65℃加熱)

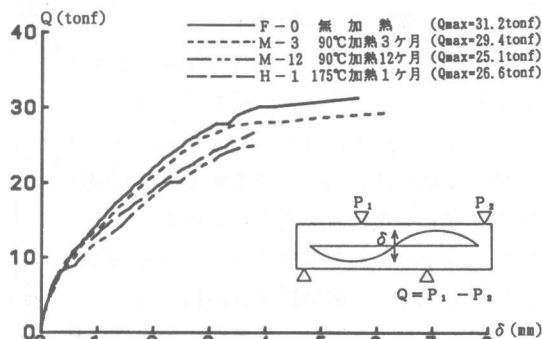


図-7 荷重-変形関係  
(無加熱, 90℃加熱, 175℃加熱)

破壊が激しい。対してM-3, M-12ではF-0に比べ終局では、爆裂的なせん断圧縮破壊は起きず、それ程急激な耐力低下とならなかった。

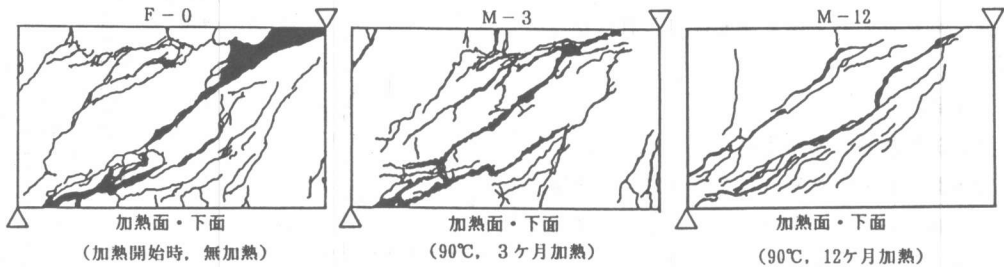


図-8 最終ひび割れ状況 (無加熱, 90°C加熱)

(3) コア強度試験

コア強度試験結果 (圧縮強度・ヤング係数) の一覧を表-5に示す。

表-5 コア強度試験結果一覧 (試験体名については表-1参照)

試験体名	位置	F-0	L-1	H-1	L-3	M-3	L-6	F-12	L-12	M-12
圧縮強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	上	314	310	226	306	269	299	329	310	229
	中	343	303	218	315	231	307	342	293	214
	下	348	291	231	262	248	243	382	263	227
ヤング係数 ( $\times 10^5$ kgf/cm <sup>2</sup> )	上	2.38	2.36	1.99	2.50	2.41	2.26	2.38	2.37	1.52
	中	2.29	2.50	1.35	2.22	1.98	2.23	2.54	2.48	1.64
	下	2.46	2.23	1.32	2.01	1.70	1.85	2.68	1.93	1.75

8. 結果の検討

(1) せん断実験

せん断実験で得られたせん断終局強度について、その経時変化を検討する。

加熱後の各実験で得られたせん断終局強度を無加熱のF-0のせん断終局強度で除したせん断終局強度比の経時変化を図-9に示す。

65°C加熱では、12ヶ月間でせん断終局強度は低下せず劣化は認められなかった。

90°C加熱では、加熱前に比べ3ヶ月で6%、12ヶ月で20%せん断終局強度が低下した。

175°C1ヶ月加熱では、加熱前に比べ15%せん断終局強度が低下した。

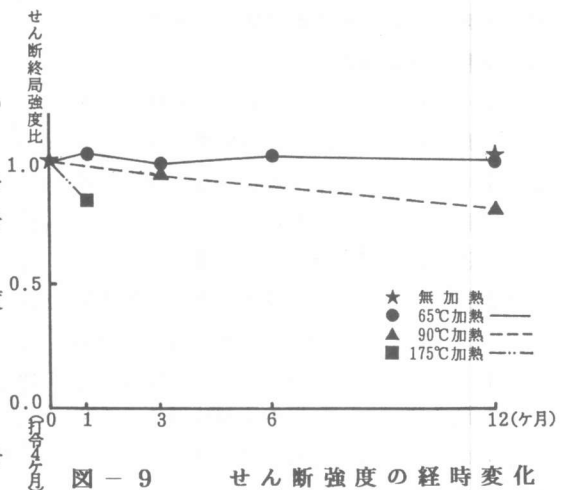


図-9 せん断強度の経時変化

(2) コア強度試験

せん断実験と対応して行った、コア強度試験結果の経時変化を圧縮強度、ヤング係数に分けてそれぞれ図-10, 図-11に示す。(1) せん断実験と同様に、加熱後の圧縮強度、ヤング係数の値を加熱前の値で除した圧縮強度比、ヤング係数比を縦軸とし、コアの採取位置毎に分けて示す。

○圧縮強度比

図-10において、65°C加熱では加熱面(下面)近傍(コア中心温度55°C)のコア強度が3ヶ月以降12ヶ月まで、加熱開始時に比べ約20~30%強度劣化したのに対し、上面近傍(コア中心温度40°C)では加熱開始時より殆ど強度劣化が生じていなかった。この様に高さ方向の温度分布性状

と同傾向な圧縮強度比の分布が得られた。圧縮強度の経時変化は加熱開始時より1ヶ月目までに強度劣化が進み、それ以降12ヶ月までは殆ど変化せず、ほぼ定常状態となった。

90℃加熱では、加熱面（下面）近傍（コア中心温度80℃）及び中央部（コア中心温度65℃）のコア強度は、3ヶ月及び12ヶ月で、加熱開始時に比べ約20～30%強度劣化した。上面近傍（コア中心温度65℃）でも加熱開始時に比べ3ヶ月で14%、12ヶ月で27%の強度劣化を生じた。

175℃加熱では、加熱面（下面）近傍（コア中心温度150℃）、中央部（コア中心温度115℃）上面近傍（コア中心温度80℃）ともコア強度は、内部温度の差異が大きかったにも拘らず同程度に劣化し、加熱1ヶ月では、加熱開始時に比べ約15～20%強度劣化した。

この図-10に図-9のせん断終局強度の経時変化を上面、中央、下面すべてにプロットすると、コア強度の劣化の方がいずれの位置でもせん断強度の劣化に比べて大きくなっている。ただし、上面でのコア強度劣化とせん断強度劣化はあまり差異が見られず、ほぼ対応している。65℃加熱では加熱された内部のコンクリートが部分的に劣化しても、はりのせん断終局強度には殆ど影響を与えなかったといえる。

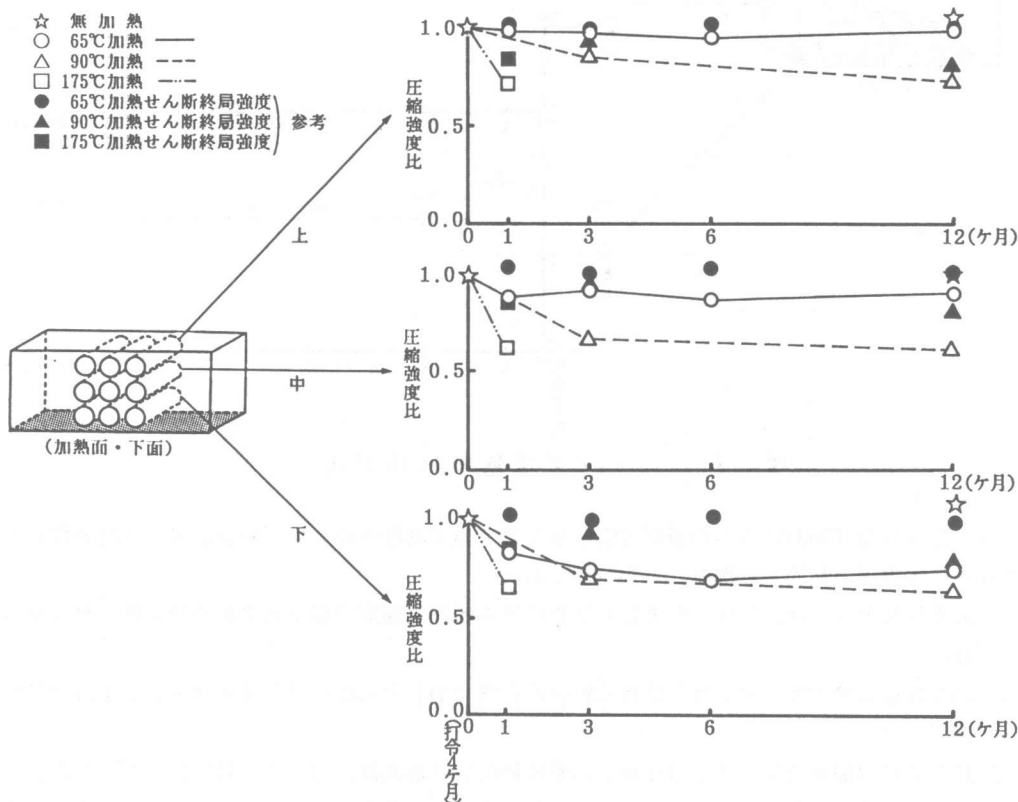


図-10 圧縮強度の経時変化

#### ○ヤング係数

図-11においていずれの場合でも、加熱面に近く、受けた温度が高いコアの方がヤング係数比の劣化の割合が大きい。また、加熱期間が長くなるとともに、若干ヤング係数の経時劣化が進む傾向が見られる。

65℃加熱では下面近傍で3ヶ月以降12ヶ月まで、加熱開始時に比べ約20～30%ヤング係数が低

下したのに対し、上面近傍では加熱開始時より殆ど変化が生じていなかった。

90℃加熱において、3ヶ月と12ヶ月を比較すると、下面近傍では経時変化は生じなかったが中央・上面では3ヶ月から12ヶ月の間で劣化が生じ、12ヶ月で上面・中央・下面とも同程度に劣化し、加熱開始時に比べ約30%のヤング係数の低下となった。

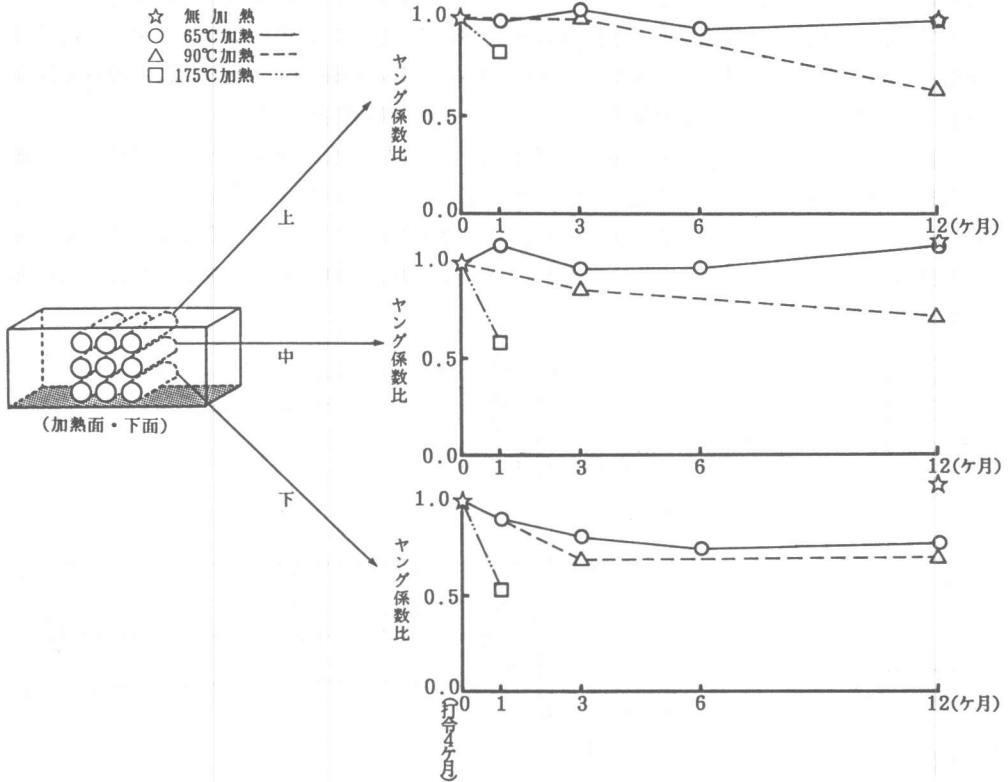


図 - 11 ヤング係数の経時変化

### 9. まとめ

RCばりの長期加熱後のせん断耐力実験及びコア強度試験を各9体（粗骨材は石灰岩を使用）を行い、本実験の範囲から次のことが分かった。

- 1) 65℃片面加熱では、12ヶ月間でRCばりのせん断終局強度は低下せず劣化は認められなかった。
- 2) 90℃片面加熱では、RCばりのせん断終局強度は加熱前に比べ3ヶ月で6%、12ヶ月で20%低下した。
- 3) 175℃片面加熱では、RCばりのせん断終局強度は加熱前に比べ1ヶ月で15%低下した。
- 4) 65℃、90℃、175℃加熱とも内部の加熱面近傍のコア強度劣化の割合に比べ、はりのせん断終局強度の劣化の割合は、かなり小さかった。
- 5) 65℃、90℃、175℃とも内部温度が最も低く、コンクリート強度の劣化度が最も小さい上面近傍でのコア強度劣化と、はりのせん断強度劣化はほぼ対応した。

### 参考文献

- 1) 丸田・山崎：長期間高温加熱を受けたコンクリート部材の強度性状に関する研究、  
コンクリート工学年次論文報告集 11-1 pp 523~528, 1989
- 2) 丸田・山崎・桜本：長期間高温加熱を受けたRCばりのせん断実験、  
日本建築学会関東支部研究報告集 pp97~100, 1989