

論 文

[1087] 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

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

100°Cを超えるような高温を長期間受けるコンクリートの強度劣化性状については、テストピースレベル ($10\phi \times 20\text{cm}$ 程度) での実験データ¹⁾ が若干あるにすぎない。特に鉄筋コンクリート部材（以下RC部材と略す。）での長期加熱実験は殆どないのが現状である。本報告では、175°Cを片面（下面）から受ける鉄筋コンクリートばかりの長期間加熱及び加力を行った後（3ヶ月間、12ヶ月間）の曲げ耐力試験及び大型のコンクリート部材²⁾ の長期片面（下面）加熱後（3ヶ月間、12ヶ月間）のコア強度試験により、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データを得ることを目的とする。

大型部材での長期加熱曲げ実験は、施設・装置などの関係で不可能であるため両実験を総合的に把握し 175°Cを長期間受けるRC部材の評価を行う。

2. 実験概要

(1) RC部材曲げ実験

長期間片側から加熱されるような大型RC部材では、温度応力による曲げモーメントの影響がかなり大きい。このような長期曲げモーメントと高温による耐力劣化を把握するため、縮尺 1/4.0 程度の鉄筋コンクリートばかり部材の曲げ実験を行った。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 にし幅を 230mm に決めた。純曲げ試験のため肋筋は省略した。曲げ試験体の主筋は片側 D22 (SD35) 2本とし、主筋比を 0.8%とした。長期加熱加力方法・シール方法等を図-2に示す。

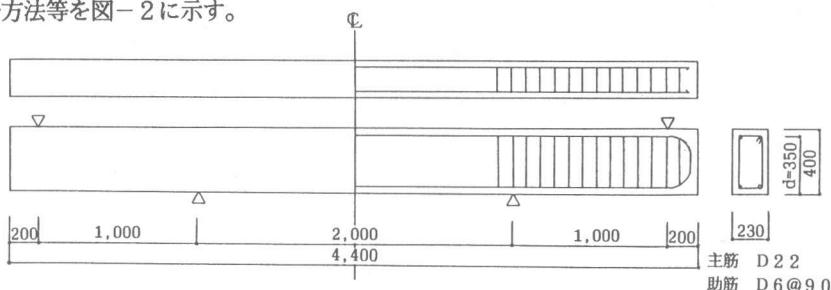


図-1 曲げ試験体の形状・寸法

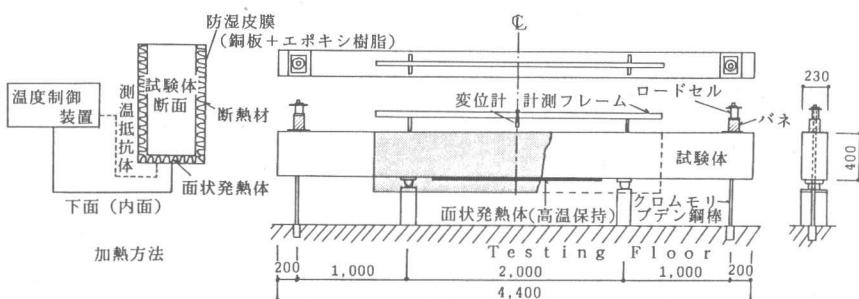


図-2 曲げ試験体の加熱加力方法

下面及び側面を鋼板で覆い上面以外からの水分の逸散を防止した。

使用したコンクリートは輝緑岩系碎石を粗骨材として用いた。また、その調合を表-1に示す。

試験体は、非加熱の温度劣化していない基準となるもの、175°C片面3ヶ月間加熱、175°C片面12ヶ月間加熱の3体とした。材令14ヶ月から加熱を開始した。加熱は試験体底面に設置した面状発熱体で行い、その下面、側面を断熱材で覆った。

長期の曲げモーメントは温度応力・長期荷重を仮定してM=5.0tm一定とした。長期加熱加力実験時、計測を中央部変位、内部温度について1日1回行った。

曲げ耐力試験は、加熱終了後、試験体を常温に戻してから行った。なお、長期載荷のための曲げモーメントも一撃除去してから油圧ジャッキ・ロードセル等を再セットし、耐力試験を行った。

(2) 大型部材コア強度試験

文献2)に示す大型コンクリート部材のコア強度試験と同様な手法で実験を行った。厚さ1.5mのコンクリート試験体に片面(下面)より175°Cの温度履歴を3ヶ月間及び12ヶ月間与えた後、コア供試体を抜き取り、温度勾配方向の強度分布性状を把握した。試験体、加熱方法、コア抜き取り位置をまとめて図-3に示す。試験体は80cm×80cm×150cmの角柱であり、その周囲は上面を除き厚さ1.6mmの鋼板で覆ってある。コンクリートと鋼板のすきまにはエポキシ樹脂を充填し、上面以外からの水分蒸発を防止した。

使用したコンクリートは1種類であり、石灰岩系碎石を粗骨材として用いた。その調合を表-2に示す。また試験体は横打ちとした。

試験体は3体であり、それぞれ常温、175°C片面3ヶ月間加熱、175°C片面12ヶ月間加熱とした。材令6ヶ月から加熱を開始した。加熱は試験体底面に設置したヒーターで行い、その下面及び4側面は断熱材で覆っているが、上面は自然冷却とした。

コアの抜き取りは加熱終了後、試験体温度が常温に戻ってから行った。なお常温試験体では加熱開始時のデータを得るために加熱直前(材令6ヶ月)にもコアを抜き取った。

また、10φ×20cm円柱供試体も加熱試験を行いコア供試体との比較検討を行った。オープンの

表-1 曲げ耐力試験・調合表

W / C (%)	S / A (%)	スランプ (cm)	空気量 (%)	単位量(上段: kg/m ³ 、下段: ℓ/m ³)				
				水	*1 セメント	*2 細骨材	*3 細骨材	A E *4 減水剤
49.2	42.2	12	5	160	326	743	1154	3.26
					103	286	427	—

*1 フライアッシュセメントB種 *2 相坂地内産陸砂

*3 三戸産碎石(輝緑岩)

*4 ヴィンソル80

表-2 大型部材コア強度試験・調合表

W / C (%)	S / A (%)	スランプ (cm)	空気量 (%)	単位量(上段: kg/m ³ 、下段: ℓ/m ³)				
				水	*1 セメント	*2 細骨材	*3 細骨材	A E *4 減水剤
55.0	44.7	12	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(混合)

*3 秩父産碎石(石灰岩)

*4 ポゾリス N o. 70

加熱温度は、100 °C、175°Cであり、水分蒸発を許さないアンシール条件と許すシール条件の2種類について行った。

3. 実験結果とその検討

(1) RC部材曲げ実験

a. 長期加熱及び加力時状況

長期試験時、試験部分の曲げモーメントが 5.0 t m 一定となるようを行った。長期の初載荷時 $M = 2.0 \text{ t m}$ 程度の時初曲げひびわれが発生し $M = 4.0 \text{ t m}$ 程度までひびわれ数が増加した。 $M = 4.0 \sim 5.0 \text{ t m}$ では、ひびわれが伸びていったがひびわれ数は殆ど増加しなかった。長期の初載荷時 ($M = 5.0 \text{ t m}$) には、中央位置の変位は 1.6 mm 程度であったが、その後、クリープ等の影響で、1ヶ月で約 1.8 mm (0.2 mm 増)、3ヶ月で約 2.0 mm (0.4 mm 増)、6ヶ月で約 2.2 mm (0.6 mm 増) と変形が増加した。なお長期試験は始めに温度を上げ、その後載荷を行った。

b. 曲げ耐力実験

長期荷重 ($M = 5.0 \text{ t m}$) を除荷した後、曲げ耐力試験を行った。曲げ耐力試験での実験経過は3体ともほぼ同じであった。

図-4に3体の曲げモーメント-中央部変形関係を示す。新たな曲げひびわれの発生は殆どみられず、3試験体とも曲げ降伏まではほぼ一定の剛性を保っていた。配筋がつりあい鉄筋比以下のため、各試験体とも引張側鉄筋の降伏により終局に至った。

基準となる無加熱の室温試験体に比べ、175°C加熱したものは、降伏点、剛性とも若干低いが、差異は少ない。これは、

配筋をつりあい鉄筋比以下としたため、引張側鉄筋の降伏により崩壊モードが決定されているためと思われる。圧縮側のコンクリートは鉄筋降伏時においても計算上 1800 μ 程度の圧縮ひずみが生じている程度である。また、コンクリートの圧壊の兆候もみられなかった。しかし、剛性、曲げ降伏点が若干低くなるの

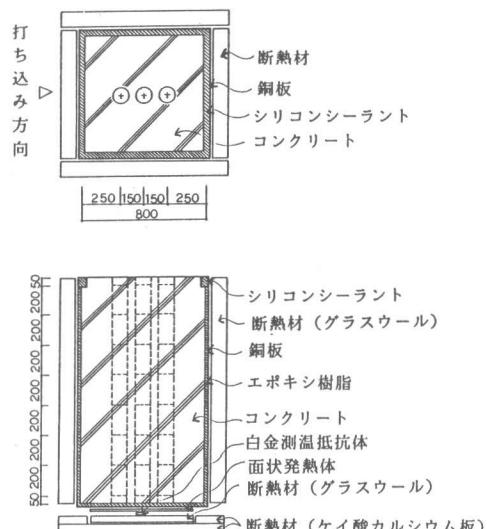


図-3 大型部材コア強度試験体の形状及び加熱方法
(文献2)による)

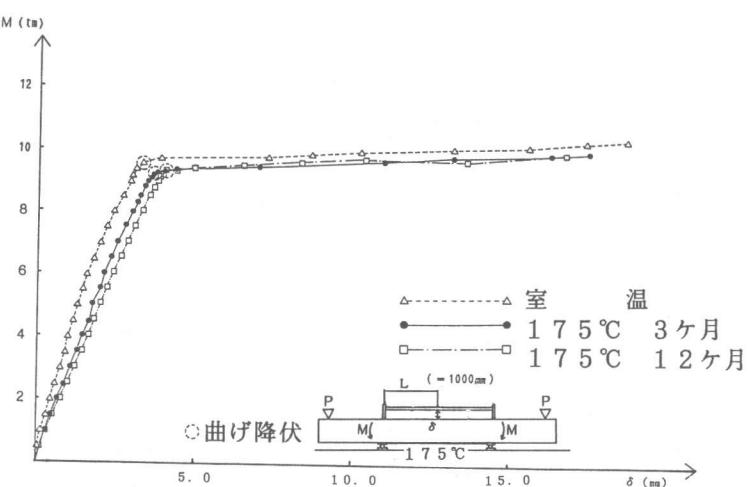


図-4 曲げモーメント-中央部変形関係(曲げ耐力試験)

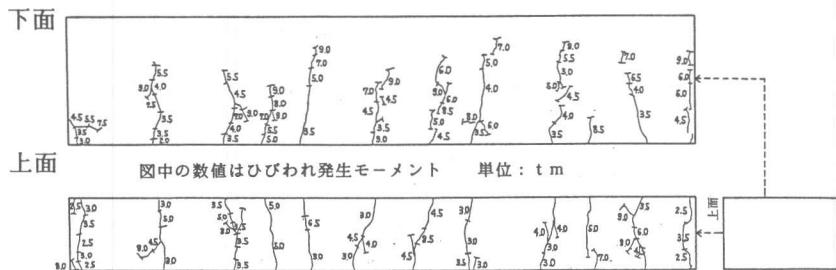


図-5 曲げ試験体ひびわれ図(室温)

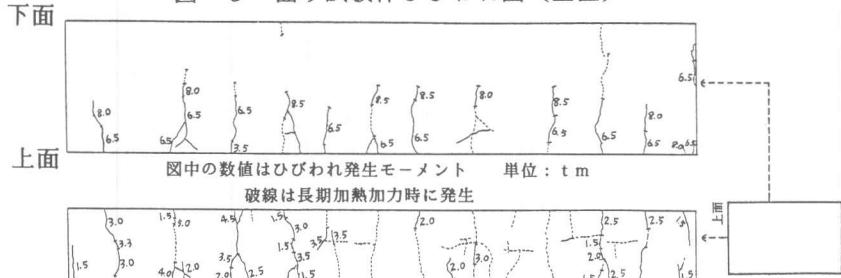


図-6 曲げ試験体ひびわれ図(175°C 12ヶ月加熱)

は、圧縮側コンクリートの強度が低下したため、中立軸が引張鉄筋側に寄り、応力中心間距離が短くなったためと考えられる。参考として、図-5、6に無加熱の試験体と175°C 12ヶ月加熱の試験体のひびわれ図(最終状況)を示す。ほぼ同様なひびわれ状況となっている。なお、ひびわれ状況からは引張側鉄筋とコンクリートの付着劣化が生じているとは思われなかった。

配筋がつりあい鉄筋比以下で非加熱面の鉄筋の曲げ降伏で崩壊モードが決まった今回の実験では175°C 1年間加熱の影響は少なかつたと言える

(2) 大型部材コア強度試験

a. 温度分布

図-7に試験体の温度分布を示す。175°C 加熱面から冷却面の約30°Cまでほぼ直線的に温度分布していることがわかる。

b. 圧縮強度及び静弾性係数の分布

図-8に温度勾配方向の強度分布を示す。加熱直前(材令6ヶ月)と常温12ヶ月(材令18ヶ月)を比べると殆ど変化なく、この期間中に強度の増加が顕著にみられなかったことがわかる。加熱直前と175°C 3ヶ月間加熱を比較すると冷却面近傍以外で圧縮強度が低下しているのがわかる。175°C 12ヶ月間加熱では、加熱直前及び常温12ヶ月と比較し、加熱面から550mm以上では、ほぼ同等な強度となっているが、それ未満ではかなり低い。この加熱面から350mm以下では

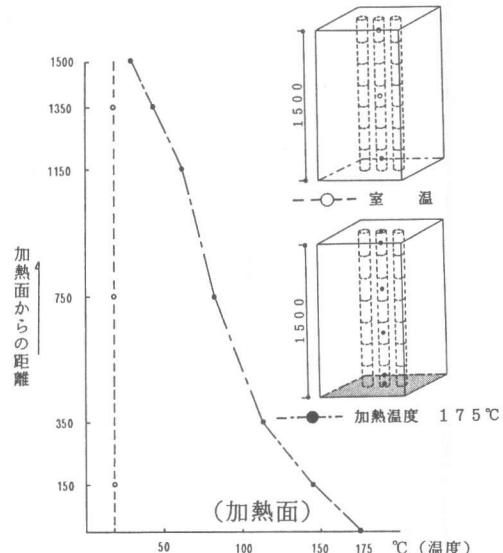


図-7 温度分布(大型部材コア強度試験)

175°C 3ヶ月間と 175°C 12ヶ月間で同様な強度となっていることがわかる。この位置において3ヶ月間加熱以降12ヶ月間加熱までに強度の経時劣化が生じていないことがわかった。

図-9に温度勾配方向の静弾性係数の分布を示す。加熱面から 550mm 以上の位置では 175°C 12ヶ月間加熱を除いてほぼ同様な分布形状を示した。静弾性係数分布も圧縮強度分布と同様に加熱面から 350mm の位置までは 175°C 加熱を行ったものの方が、室温のものより小さい結果となった。

(3) コンクリート温度と各残存比率の関係

コア供試体が履歴した温度と圧縮強度比（加熱後の強度を加熱前の強度で除した値）の関係を図-10に示す。コア供試体の温度は、その中心位置における値とした。このコア供試体と 100°C、175°C一定のオープンに入れた $10\phi \times 20\text{cm}$ の円柱供試体の結果を同時に示す。また、この円柱供試体では割裂強度試験も行ったので、その結果も合わせて示す。

コア供試体では、3ヶ月間加熱と12ヶ月間加熱では冷却面近傍（43°C）と加熱面近傍（113°C～145°C）で圧縮強度比がほぼ一致しているが、その中間温度（62°C～97.5°C）では12ヶ月間加熱の圧縮強度比が大きく、不安定な結果となった。加熱面近傍（113°C～145°C）では圧縮強度比が 0.52～0.58 と低く、劣化していることがわかる。また、この位置では3ヶ月間以降12ヶ月間までの経時変化は認められなかった。

円柱供試体では、3ヶ月間以降12ヶ月間までに際立った経時変化は認められなかった。

総合的にみると加熱温度が 100°C を超え 175°C 近傍となると圧縮強度比及び割裂強度比（加熱後の強度を加熱前の強度で除した値）は約 0.5～0.65 程度に低下する。

圧縮強度比と同様に静弾性係数についても、コア供試体が履歴した温度と静弾性係数比（加熱後の静弾性係数を加熱前の静弾性係数で除した値）の関係を図-11に示す。コア供試体での静弾性係数比分布は、圧縮強度比分布と同様な傾向となった。100°C 及び 175°C 円柱供試体では、シール条件のものの方がアンシール条件のものに比べて静弾性係数比が高くなっている。コア供試体の 100°C 以上での静弾性係数比は円柱供試体のアンシール条件のものに近い値を示している。

加熱温度が 100°C を超え 175°C 近傍では、静弾性係数比は、約 0.45～0.7 程度に低下することがわかった。

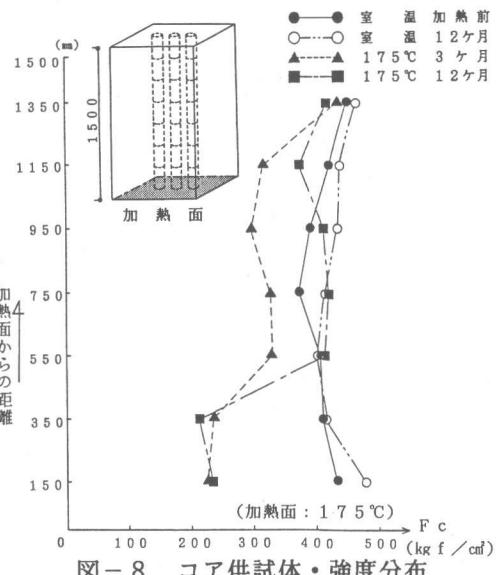


図-8 コア供試体・強度分布

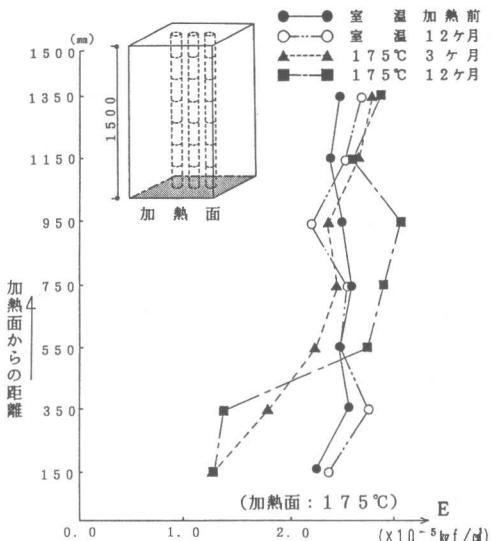


図-9 コア供試体・静弾性係数分布

4. まとめ

(1) RC部材曲げ実験

鉄筋コンクリートはり部材の3ヶ月間及び12ヶ月間の長期加熱加力後の曲げ耐力試験を行い次のことがわかった。

配筋をつりあい鉄筋比以下とし非加熱面の鉄筋の曲げ降伏で崩壊モードが決まった今回の実験では、175°C 1年間の加熱の影響はあまり顕著でなく、耐力低下も少なかった。また、加熱加力期間3ヶ月間と12ヶ月間では曲げモーメント-変形関係に殆ど差がなく、経時変化が生じなかったと言える。

(2) 大型部材コア強度試験

厚さ 1.5m の大型コンクリート部材を片側から175°C で3ヶ月間及び12ヶ月間加熱し、圧縮強度比、静弾性係数比の把握を行った。その結果、加熱面近傍では、加熱3ヶ月以降12ヶ月までに際立った経時変化は認められなかった。また、100°C以上 175°C までは、加熱前に比べ圧縮強度は0.5～0.6、静弾性係数は0.45～0.7と大きく低下することがわかった。

以上より今回のRC部材曲げ実験の条件下では 175°C 1年間の加熱の影響は少なかった。しかし大型部材コア強度試験から、加熱面近傍のコンクリートの強度劣化は著しく、今後コンクリート強度の影響が大きいせん断実験等が必要となってくる。

追記：大型部材コア強度試験は文献2)による手法を用いて行った。

参考文献

- 1) 金津 努ほか：100°Cを超える高温下におけるコンクリートの強度性状、電力中央研究所土木研究報告、1984, 1985

- 2) 桜本 文敏：片面から加熱を受ける大型コンクリート部材の強度性状に関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、1988, pp581～582

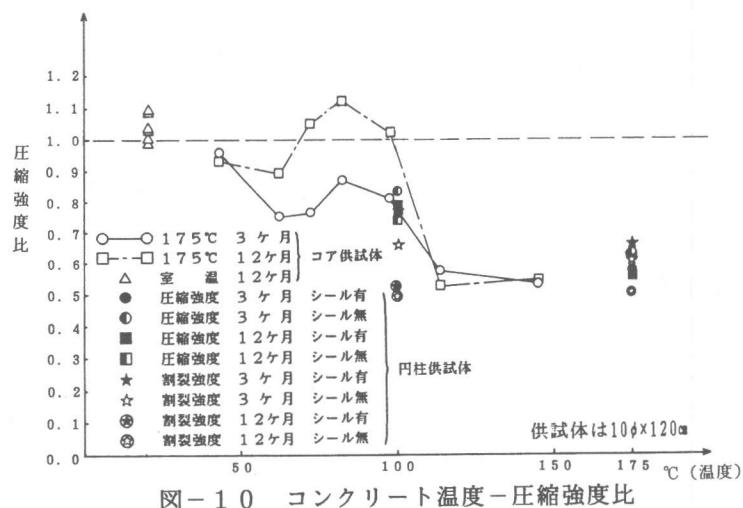


図-10 コンクリート温度-圧縮強度比

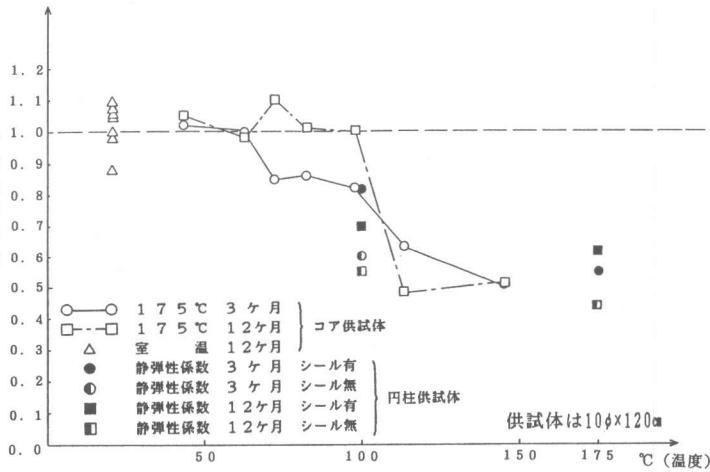


図-11 コンクリート温度-静弾性係数比