

ハイラップ工法の開発（その3）

—耐火性能および加熱後の構造性能—

中山 達雄 脇坂 達也
吉岡 研三 武田 寿一

Development of Hi-Lap Splice Method (Part 3)

—Fire Resistance and Structural Integrity after Fire Damage—

Tatsuo Nakayama Tatsuya Wakisaka
Kenzoh Yoshioka Toshikazu Takeda

Abstract

If a confining steel plate without any fire protection can be realized it would make possible shortening of the construction period and lowering of cost, and therefore, practicization would be of great value. This experimental study is for ascertaining the possibility for lap-splicing of large-diameter deformed bars confined by steel plate without any fire protection, based on both a large heat capacity of concrete and a design philosophy for structural fire safety, that is, no fire accident will occur simultaneously with an earthquake

As a result of 2-hour fire tests, it was found that steel plate temperature more than about 50 mm inside from the outer surface is less than 500 °C, warping of steel plate will not occur, and axial force (48.8 kgf/cm²) is maintained. Also, flexural shear tests showed that a stable load hysteresis is exhibited up to rotation angle of 1/25 and ultimate flexural strength with fire damage is slightly reduced compared with no fire damage.

概要

無耐火被覆の拘束鉄板が実現できれば、工期短縮や費用低減ができ、実用化の価値は大きい。この研究は、地震と火災は同時に発生しないという耐火設計の考え方およびコンクリートの蓄熱効果に着目し、無耐火被覆の鉄板拘束による太径異形鉄筋重ね継手柱の可能性を実験的に調べたものである。

2時間の載荷加熱試験の結果、外表面から約50 mm以上内部の鉄板の最高温度は許容鋼材最高温度500 °C以下であること、鉄板の反りなどの異常は生じないこと、軸力(48.8 kgf/cm²)を保持し得たこと、などが分かった。載荷加熱試験を経た定軸力下の曲げせん断実験の結果、補修の有無にかかわらず部材角1/25まで安定した荷重履歴を示すこと、曲げ終局強度は加熱を受けない試験体のそれに比べ0.85(補修試験体)および0.80(無補修試験体)に低下すること、などが分かった。

1. はじめに

前報^{1),2)}では、鉄板拘束による太径異形鉄筋重ね継手柱の優れた構造性能を示した。本報は、拘束鉄板が露出する場合の耐火性能を述べるものである。無耐火被覆の拘束鉄板が実現できれば、柱の見付け寸法が小さくなり内部空間が広がる。更に、工期短縮や費用低減ができ実用化の価値は大きい。既往の実験によれば、コンクリートの蓄熱効果によって温度上昇は低く抑えられ、耐火被覆の無い場合でも耐火性能を有する³⁾。ところで、現行の耐火規準⁴⁾に従えば、鉄板が露出するような場合には耐火被覆が必要となる。このような現状に際し、耐火性能判定規準を緩和しようとする気運が高まってきた。一方、耐火設計では、地震と火災は同時に発生しない立場を採っている。従って、田形の拘束鉄板のうち中子鉄板を長期荷重に対するせん断補強材とみなし得れば耐火被覆を必要としない設計コンセプトが成立つ。

この研究は、このような観点から、耐火被覆のない鉄板拘束による太径異形鉄筋重ね継手柱が長期荷重時に火災を受けた場合の基本的性状を把握するため、標準加熱曲線による2時間の載荷加熱試験を行なった。さらに、加熱後の構造性能を確認するため、載荷加熱試験を経た定軸力下で曲げせん断実験を実施した。

2. 載荷加熱試験

2.1 試験体

試験体は、常温下で優れた構造性能を示した、基準試験体(CM-35S-33)の断面²⁾に合わせた。断面640×640、主筋量12-D35(SD35, $p_g=2.80\%$)、重ね継手長さ35 d_b (d_b :主筋径)、拘束鉄板厚さ4.5、鉄板による拘束長さD(断面全せい)、加熱範囲を2,000 mmとした。ただし、載荷加熱時の試験体は、加熱範囲の両端に400 mmの余長を設け、全長2,800 mmとした。試験体一覧を表-1に、試験体の形状・配筋を図-1に、それぞれ示す。

表-1 試験体の諸元

試験体名	断面 mm	主筋量	重ね 長さ	拘束鉄板			試験内容	
				形	鉄板	拘束長さ		
CM-35S-33						2.00	72.5	水平加力 (文献 ²⁾ 参照)
CM-35S-F1	640 × 640	12-D35	35db	⊕	Ⓟ4.5	1.98*	60.9*	載荷加熱→補修→水平加力
CM-35S-F2						2.07	54.8	載荷加熱→無補修→水平加力

db:呼び名に用いた鉄筋径の数値 *補修に用いた鉄板による値。当初はCM-35S-F2の値と同一

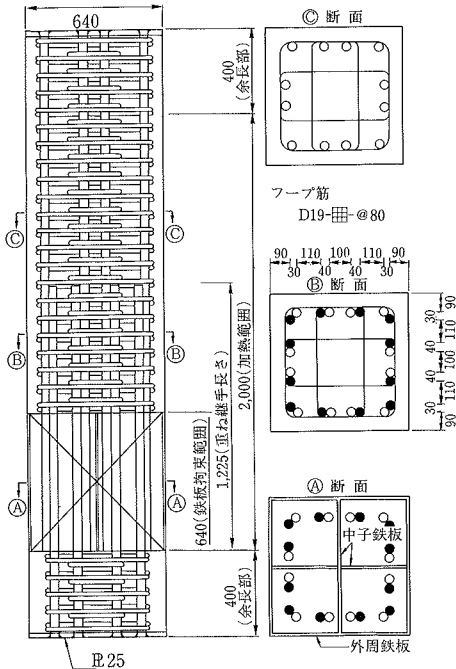


図-1 試験体の形状・配筋

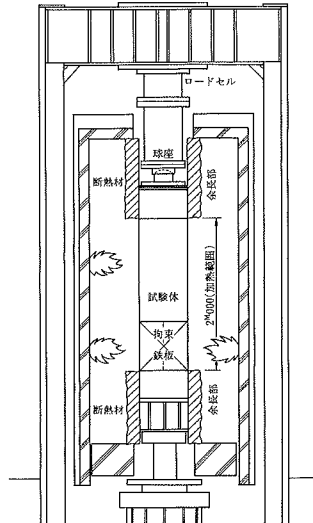


図-2 載荷加熱装置の概要

表-2 コンクリートの材料試験結果 (常温下)

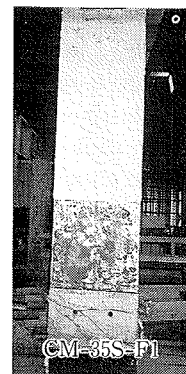
圧縮強度* σ_c (kgf/cm ²)	引張強度** σ_t (kgf/cm ²)	ヤング係数 E_c 10 ³ kgf/cm ²	用途
286	21.9	2.09	CM-35S-F1, CM-35S-F2の本体
311	24.1	2.15	CM-35S-F2の補修時かぶり部

*100φ×200^φ, **150φ×300^φ

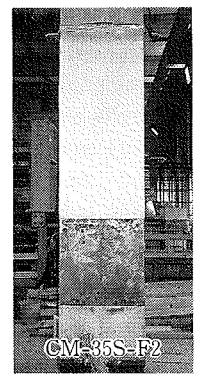
表-3 鉄筋および鉄板の材料試験結果

種類	呼び名	断面積 cm ²	板厚 mm	降伏点 σ_y (kgf/cm ²)	引張強度 σ_{max} (kgf/cm ²)	ヤング係数 E_s 10 ³ kgf/cm ²	伸び率 %	用途
鉄筋	D19	2.87		3,590	5,370	1.96	24.2	フープ筋
	D35	9.57		3,680	5,820	1.97	26.7	主筋 ^{*1}
鉄板	Ⓟ4.5	4.41		2,650	3,680	2.09	45.3	拘束材 ^{*3}
		4.22		3,080	4,150	2.13	28.4	拘束材 ^{*4}

*1 常温下での材料試験結果
*2 実験終了後、試験体の反曲点近傍から切り出した鉄筋片による材料試験結果
*3 当初に用いた鉄板の材料試験結果
*4 CM-35S-F1の補修に用いた鉄板の材料試験結果



試験体 CM-35S-F1



試験体 CM-35S-F2

写真-1 載荷加熱試験終了後のひび割れ状況

2.2 使用材料

コンクリートは、最大寸法 20 mm の粗骨材 (硬質砂岩: 西多摩産) および同 5 mm の細骨材 (安比奈産40%・佐原産30%・小菅産30%) を用いた普通コンクリートである。コンクリートの材料試験結果を表-2に、鉄筋・鉄板の材料試験結果を表-3に、それぞれ示す。

2.3 載荷および加熱方法

コンクリート打設から加熱開始まで (期間、約20週)、試験体を室内自然乾燥状態に置いた。載荷加熱試験状況を図-2に示す。試験範囲外の余長部はセラミックファイバーブランケットを巻きつけた。球座の加熱中に得た最高温度は30°C (外気温にほぼ等しい) 以下を示し、断熱効果は十分であった。軸方向載荷 200 tf (コンクリート全断面に対する応力度 48.8 kgf/cm²) を加熱中、上下端ピン支持で作用させた。両試験体とも、JIS A1304の標準加熱温度曲線に沿って2時間加熱した。加熱を止めた約1.5時間後、加熱炉の扉を開け自然冷却させた。

2.4 測定項目および測定方法

図-1に示すように、A断面 (鉄板拘束部)・B断面 (中央部)・C断面 (一般部) の3つの断面について、拘束鉄板温度 (10点)・フープ筋温度 (6点)・主筋温度 (8点)・断面内のコンクリート温度 (11点) を測定した。計測にはCA熱電対 (0.75級以上、径 0.65 mm) を用いた。

2.5 加熱試験結果

2.5.1 ひび割れ性状 写真-1に、載荷加熱終了後のひび割れ状況を示す。コンクリート表面には多数のひび割れが生じ、隅角部ではコンクリートが剥落した。また、粗骨材のうち石灰石成分がコンクリート表面より突出した。拘束鉄板はコンクリートからわずかに浮いたが、鉄板の反りは無い。載荷加熱中、定軸力 (48.8 kgf/cm²) を保持した。

2.5.2 温度性状 鉄板外表面温度履歴の一例を図-3に示す。加熱後60分で920°C、同様に120分で1,016°C、と炉内温度にやや遅れて上昇するが、標準加熱温度曲線にほぼ沿っている。断面内のうち、隅角部のコンクリート温度の測定結果の一例を図-4に示す。コンクリート温度は120~130°Cでいったん停滞し、その後、再び温度が上昇した。この現象はコンクリート内部に含まれる自由水の影響によるものと推定される。加熱2時間後の断面内の温度分布を図-5に示す。断面の内部ほど、温度は急激に低下する。ちなみに、田形鉄板のうち中子鉄板に着目すると、外表面から50.5 mmの位置で温度500°C (直線補間)となる。このことは、コンクリート断面内の鉄板量 (長さ 640 mm) の約85%はJIS A1304による鉄骨鉄筋コンクリート柱の許容鋼材最高温度500°C以下となることを示す。

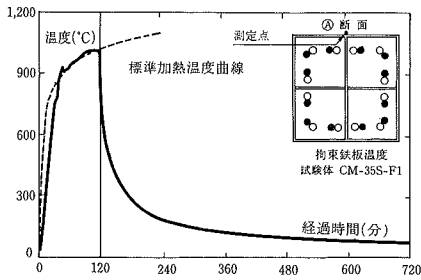


図-3 鉄板外表面の温度履歴

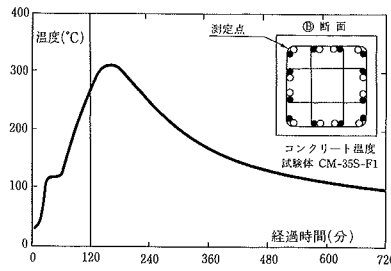


図-4 隅角部コンクリートの温度履歴

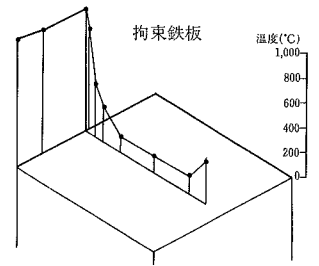


図-5 加熱2時間後の温度分布



①加熱を受けた拘束鉄板の切断・撤去
②かぶりコンクリートのはつり
③接着増強材の塗布
④拘束鉄板の新設取り付け

写真-2 試験体補修の手順 (CM-35S-F1)

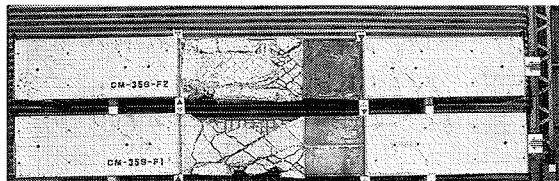


写真-3 最終破壊状況

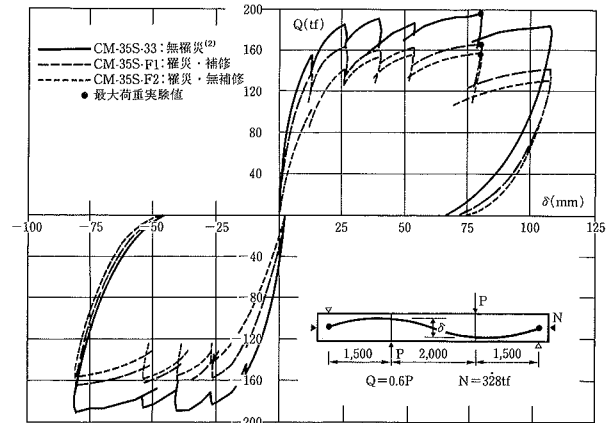


図-6 水平荷重～水平変形関係

表-4 実験結果一覧

試験体名	備考	軸力 N tf	実験結果			
			曲げひび 割れ荷重 Q_{bc}^{*1} tf	せん断ひび 割れ荷重 Q_{sc}^{*2} tf	最外縁引張 鉄筋降伏荷 重 Q_{sy}^{*3} tf	最大荷重 Q_u tf
CM-35S-F1	補修	328	+61.4	+73.6	+137.5	+165.7
					-129.0	-165.1
CM-35S-F2	無補修	328	+47.4	+70.8	+101.8	+156.1
					-102.3	-158.6

*1 水平荷重～水平変形関係より判断した値である。

*2 目視による観察結果。

*3 試験体CM-35S-33の結果より、 $\delta=13.5$ mmのときのせん断力とした。

3. 加熱後の水平加力実験

3.1 試験体

補修の有無によって、常温下での構造性能の相違を比較した。試験体 CM-35S-F1 が補修を施したものである。試験体の補修手順を写真-2 に示す。外周鉄板と中子鉄板の交点に幅 50 mm を残し、外周鉄板を切断・撤去した。つぎに、かぶりに相当するコンクリートをはつり落とし、表面に接着増強材を塗布した。外周鉄板を中子鉄板の先端に溶接し、田形拘束鉄板を復元させた。それから、はつり部分にコンクリートを打設した。後日、水平力を載荷するため、試験区間の両端にスタブを延長した。

3.2 使用材料

接着増強材には、重量比 1 : 1 のセメントペーストを 2 倍液の混和剤 (スチレン・ブタジエン系エマルジョン) で混練したものを用いた。かぶり部分の補修用コンクリートの材料試験結果を表-2 に示す。

3.3 実験方法

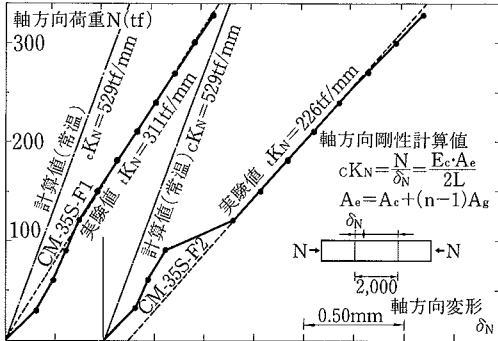
実験方法は文献²⁾を参照されたい。逆対称加力形式を用いた。軸方向変形および試験区間の相対たわみを電気式変位計で求めた。

3.4 実験結果

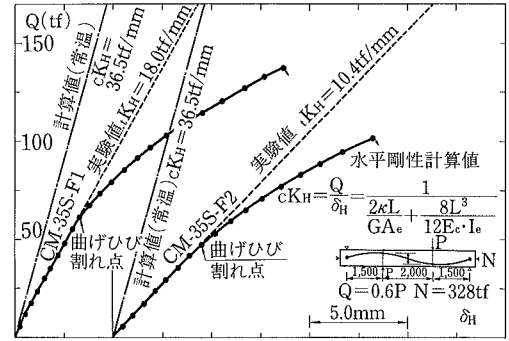
3.4.1 破壊性状 表-4 に実験結果の一覧を、図-6 に水平荷重～水平変形関係を、それぞれ示す。定軸力 (328 tf) は、水平加力中、保持し得た。加熱を受けた試験体は、それを受けないものに比べ、耐力・剛性が低下した。無補修の試験体は、補修を施した試験体に比べ、耐力・初期剛性がさらに低い。しかし、いずれも $6\delta_y$ (部材角 1/25) まで耐力の低下は見られず、十分な変形能を示した。最終破壊状況を写真-3 に示す。無補修の試験体はかぶりコンクリート部分の付着割裂ひび割れが顕著に現れた。これは、載荷加熱試験時の隅角部の損傷に起因し、ごく表面上の現象である。

表一5 最大荷重の実験値と計算値

試験体	実験値	計算値 Case 1		計算値 Case 2		計算値 Case 3		計算値 Case 4		せん断終局強度 V_u (tf)	曲げ終局強度計算値 $\frac{tQ_u}{V_u}$	備考
	tQ_u tf	cQ_{u1} tf	$\frac{tQ_u}{cQ_{u1}}$	cQ_{u2} tf	$\frac{tQ_u}{cQ_{u2}}$	cQ_{u3} tf	$\frac{tQ_u}{cQ_{u3}}$	cQ_{u4} tf	$\frac{tQ_u}{cQ_{u4}}$			
CM-35S-33	195.7	156.3	1.25	192.4	1.01	—	—	—	—	127.2	1.54	Case1: 全断面有効 常温の無拘束コンクリート
CM-35S-F1	165.7	148.9	1.11	174.1	0.95	113.7	1.46	136.9	1.21	93.9	1.46	Case2: 全断面有効 常温の拘束コンクリート
CM-35S-F2	156.1		1.05		0.90	1.37	1.14	1.08	Case3: 核断面有効 常温の無拘束コンクリート			
												Case4: 核断面有効 常温の拘束コンクリート



図一7 軸方向剛性



図一8 初期水平剛性

3.4.2 軸方向剛性 図一7に軸方向剛性を示す。計算値(全断面有効・常温下での材料定数)に対する実験値の比は、0.59(補修), 0.43(無補修)であった。無補修試験体の剛性は補修試験体のその0.73倍である。

3.4.3 初期水平剛性 図一8に初期水平剛性を示す。計算値(全断面有効・常温下での材料定数)に対する実験値の比は、0.49(補修), 0.28(無補修)であった。無補修試験体の剛性は補修試験体のその0.58倍である。初期水平剛性に及ぼす加熱の影響は、軸方向剛性のそれに比べ、大きい。

3.4.4 最大荷重 加熱を受けた試験体の最大荷重は、それを受けない場合に比べ0.85倍(補修), 0.80倍(無補修)に低下した。表一5に、実験値と各種仮定を用いた計算値(文献²⁾)との比較を示す。実験値は計算値(Case 1)の1.05~1.11倍である。加熱を受けたにもかかわらず、計算値に比べやや大きい。同様に、Case 2で0.95~0.90, Case 3で1.46~1.37, Case 4で1.21~1.14であった。

実験値は学会RC造建物の終局強度型耐震設計指針⁵⁾によるせん断終局強度計算値の1.08~1.46倍であった。学会式でせん断設計しておけば、2時間加熱を受けた場合でも、せん断破壊先行を防止できると考えられる。

4. まとめ

2時間の載荷加熱試験の結果、以下のことが分かった。

① コンクリート断面内の鉄板温度は急激に低下する。外表面から約50mm以上内部の最高温度は、許容鋼材最高温度500°C以下である。

② 拘束鉄板はコンクリートからわずかに浮いたが、鉄板の反りなどは無い。

③ 軸力48.8 kgf/cm²を保持し、異常は生じない。構造性能確認実験の結果、以下のことが分かった。

④ 補修の有無にかかわらず、部材角1/25まで大きな耐力の低下は見られず、安定した荷重履歴を示す。

⑤ 軸方向剛性は、計算値(全断面有効・常温下の材料定数)の0.59倍(補修), 0.43倍(無補修)であった。

⑥ 初期水平剛性は、計算値(全断面有効・常温下の材料定数)の0.49倍(補修), 0.28倍(無補修)であった。

⑦ 曲げ終局強度は、加熱を受けない試験体のそれに比べ、0.85倍(補修), 0.80倍(無補修)であった。

以上のように、耐震補強を考える場合、補強後の建物に付与すべき性能・工期・工費などを十分に考慮して、適切に補強を定める必要がある。

謝辞

建設省建築研究所 中村賢一室長には、実験計画当初から結果のとりまとめまで、たえず御指導頂きました。ここに、あらためて深謝を表します。

参考文献

- 1) 中山, 他: ハイラップ工法の開発(その1) - 拘束鉄板補強重ね継手の構造性能実験 -, 大林組技術研究所報, No. 40, p. 90~95, (1990.2)
- 2) 中山, 他: ハイラップ工法の開発(その2) - 拘束鉄板補強重ね継手柱の構造性能実験 -, 大林組技術研究所報, No. 41, p. 55~60, (1990.8)
- 3) 木村, 他: 複合荷重を受ける充填型鋼管コンクリート柱の耐火性能に関する実験的研究, 日本建築学会構造系論文報告集, p. 63~70, (1990.11)
- 4) 建設省告示第2999号: 建築基準法施行令第107条第1号の規定に基づく耐火構造の指定に関し, 耐火構造の指定の方法を定める件, (1969.5.31)
- 5) 日本建築学会: 鉄筋コンクリート造建物の終局強度型耐震設計指針・同解説, (1990)