

プレビーム合成梁の耐火性能

Fire Resistance of Pre-flexed Composite Beam

下野 直人

Naoto SHIMONO

㈱竹中工務店設計部構造課課長代理

古平 章夫

Akio KODAIRA

㈱竹中工務店技術研究所主任研究員

藤中 英生

Hideo FUJINAKA

㈱竹中工務店技術研究所担当研究員

吉田 順一郎

Jun-ichiro YOSHIDA

川田工業㈱橋梁事業部技術部大阪技術部
設計一課課長

橋本 利幸

Toshiyuki HASHIMOTO

川田工業㈱生産本部富山工場生産技術課
係長

森田 元新

Genshin MORITA

川田工業㈱生産本部富山工場生産技術課

The research reported here regards a fire test under load to determine the fire resistance of a preflexed composite beam with a fire resistive covering on the web of the H-section. Two specimens which had a 45mm and 65mm thick covering were used for fire test. They were fired while loaded on the beam center with a stress level of 120% of the allowable stress for sustained loading. Using the ISO regulation to evaluate the results, the test showed that the deflection was less than 50% of the values specified in the regulation. The failure strength test after cool down, showed that the change in ultimate load capacity was almost zero. From these results, it was determined that pre-flexed composite beams have a very high fire resistance performance.

Key words: fire resistance, fire test under load, fire resistive covering, deflection speed, tension test under fire

1. はじめに

プレビーム合成梁は、溶接H鋼梁の下フランジを高強度のコンクリートで被覆し、上フランジ側を床スラブと合成した合成梁である。下フランジコンクリートには、鋼梁の曲げ変形を利用して圧縮プレストレスが導入されている。このため、非常に高い剛性が得られ、長スパン、低い梁せい、振動吸収性能等が要求される部分に適しており、わが国では、1970年以来約70件の建築物に使用されている。

プレビーム合成梁の耐火性能については、過去に全周をコンクリートで被覆した梁に対して耐火実験を実施し、十分な耐火性能を有することを確認済みである¹⁾。しかし、近年ウェブ部分に耐火被覆を施して用いることが多い。これに対応して本研究では、鋼梁の上フランジとウェブに耐火被覆を施したプレビーム合成梁の耐火性能を調べるために、試験体を用いた載荷加熱実験を行った。ここでは実験計画の概要と実験結果について報告を行う。

2. 載荷加熱実験の計画

(1) 実験方法の選定

過去のプレビーム合成梁の加熱実験結果¹⁾から、鋼材温度は3時間加熱時に許容値の350℃を超えることが予測された。このため、載荷加熱実験により、耐火性能の

確認を行うものとした。載荷加熱実験は、主部材である鋼梁に長期許容応力の1.2倍に相当する応力が発生するようにしながら2時間、または3時間の載荷加熱を行い、加熱によって構造上有害な変形、破壊、脱落が生じないことを確認するものである。

(2) 試験体の計画

試験体は、同じ形状のものを4体製作するものとし、鋼梁の耐火被覆部分の厚みを、45mm(2時間加熱用)および60mm(3時間加熱用)のそれぞれ2体ずつとした。載荷荷重は、梁のプレストレスによる応力も含めて、載荷時に鋼梁応力が長期許容応力の1.2倍となるように設定した。また、2時間用、3時間用それぞれ1体目の実験において十分な耐火性能が確認されれば、残り2体については降伏点付近まで載荷力を上げて加熱を行うことを予定した。図1に試験体形状、表1に試験体の種類、表2、3に鋼材およびコンクリート材の機械的性質を示す。

試験体の製作は、図2に示す手順にて行い、プレフレクション工程から鋼梁に応力が生じるため、各施工段階で、部材に生じるひずみの計測を行い、載荷時に所定の応力状態になるように管理するものとした。また、コンクリートは加熱時含水率が5%以下となるよう打設後、十分な乾燥期間を確保するものとした。

(3) 実験の方法

実験は図3に示すように、耐火試験炉の両外側で試験

体を支持し、上部の油圧ジャッキより加力ビームを介し2点载荷にて所定の荷重を载荷するものとした。荷重は図5に示すように、加熱前に载荷し、加熱している間一定に保持するものとした。加熱は、JIS A 1304に規定された標準加熱曲線に沿って、所定時間継続するものとした。

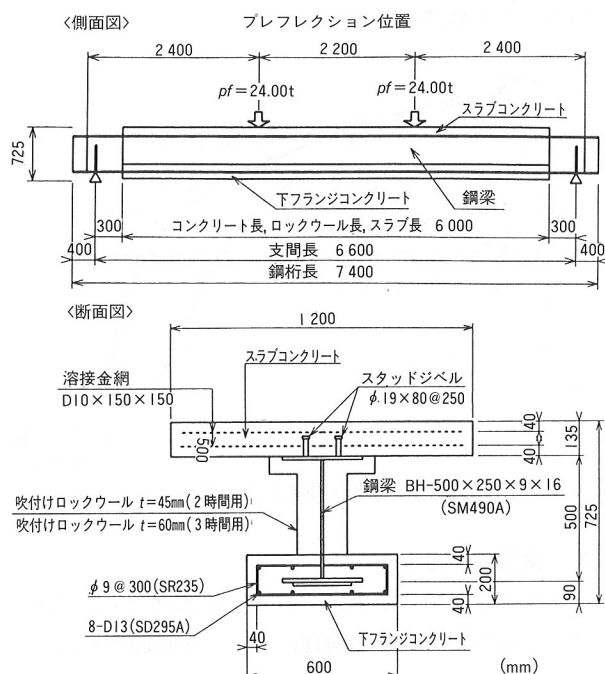


図1 試験体形状

表1 試験体の種類

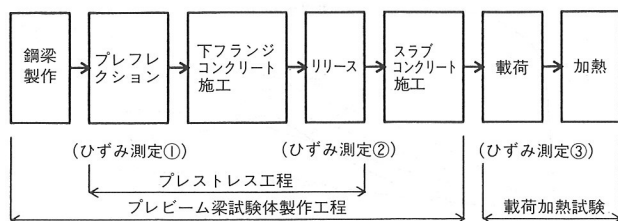
試験体 No.	吹き付け ロックウール 厚さ (mm)	加熱時間	プレフレクション	载荷荷重 P (t・m)	終局耐力P (t)	
					プレストレス 考慮	プレストレス 無視
No. 1	45	2時間		74		
No. 2	2時間耐火用	破壊まで	P=24t	92	P=96.1t	P=121.4t
No. 3	60	3時間	M=57.6t・m	75	M=108.0t・m	M=135.7t・m
No. 4	3時間耐火用	破壊まで		95		

表2 鋼材の機械的性質

鋼材	断面寸法 (mm)	鋼種	降伏応力 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	伸び (%)
H鋼梁	BH-500×250×9×16	SM490A	F=364 W=391.8	545.2 570.1	32.2 31.7
鉄筋 (下フランジ用)	8-D13@300 21-φ9	SD295A SR235			

表3 コンクリート材の機械的性質

調査名	圧縮強度 (N/mm ²)			含水率 (%)	
	設計強度	7日	28日		
下フランジ	40.0	45.0	59.1	3.79	137日
スラブ	24.0	22.5	33.5	3.45	121日



注1) 全ひずみ=①+②+③+クリープ乾燥収縮によるひずみ(計算値)

図2 試験体の製作手順

計測は温度、载荷荷重、ひずみおよび曲げ変形について行うものとした。温度については、加熱中の加熱温度、鋼材温度、下フランジコンクリートの鉄筋温度、スラブコンクリートの内部温度、裏面温度を、径0.65mmのCA熱伝対を用い時間の経過に従って計測するものとした。ひずみゲージ、温度測定配置を図4に示す。载荷荷重については油圧ジャッキと加力ビームの間に設置したロードセルを用いて測定するものとした。载荷時および加熱開始後、破壊に至るまでの力学的挙動を確認するため、ひずみおよび曲げ変形を時間の経過に従って測定するものとした。

耐火性能は、ISO-834(建築構造部材の耐火試験方法)の改訂案の規定を適用し、次式のたわみ速度またはたわみ量により評価するものとした。

$$\cdot \text{たわみ速度} [\text{mm/分}] : \Delta \delta / \Delta t = L^2 / 9000H \dots\dots\dots(1)$$

$$\cdot \text{たわみ量} [\text{mm}] : \delta = L^2 / 400H \dots\dots\dots(2)$$

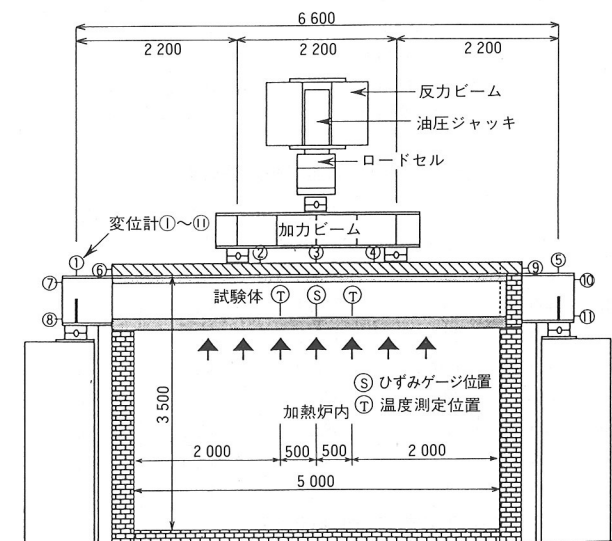


図3 载荷加熱実験装置の概要 (mm)

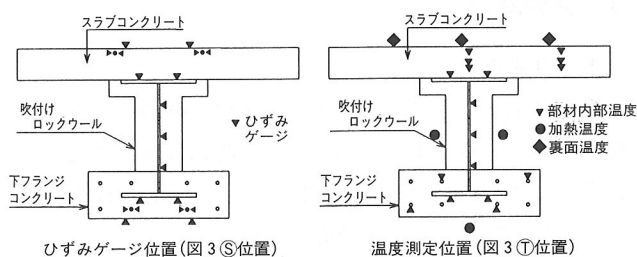


図4 ひずみゲージ、温度測定の配置

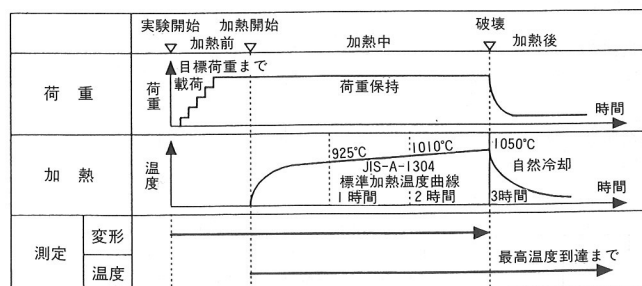


図5 実験方法の概要

ここに、 L ：支点間距離[mm]， H ：梁せい[mm]。本実験のたわみ速度は6.67mm/分、たわみ量は150.2mmである。

(4) 鋼材予備試験

鋼材の常温時の実降伏点を調べ載荷荷重に反映するため、高温時の機械的性質の変化を事前に把握するために、常温および高温での鋼材引張試験を行うものとした。試験は常温、350℃、450℃、600℃について行い、試験片は鋼梁フランジおよびウェブについて各温度3片ずつを採取した。試験概要を表4に、試験結果を表5に示す。試験の結果、使用する鋼材の実降伏応力はフランジ部で3720kg/cm²であり、保証強度の1.13倍の強度を確認した。また、高温時の降伏点は350℃で常温の2/3、600℃で常温の1/3の結果となった。

表4 鋼材の高温引張試験概要

試験水準	常温	350℃	450℃	600℃
試験方法	JIS G 0567			
試験体	部材	母材規格		試験片
	Flg	SM490A $t=16\text{mm}$		11-10型(D=10mmφ, GL=50mm) 各温度3片
	Web	SM490A $t=9\text{mm}$		11-6型(D=6mmφ, GL=30mm) 各温度3片

表5 鋼材の高温引張試験結果

部材	試験温度 (℃)	0.2%Y.S (N/mm ²)	T.S (N/mm ²)	EI (%)	R.A (%)
Flg	常温	364.6	545.2	32.2	72.2
	350	239.7	542.1	30.8	77.2
	450	223.2	432.7	35.3	85.9
	600	126.4	197.9	55.8	91.1
Web	常温	391.8	570.1	31.7	73.8
	350	278.6	582.1	32.2	75.6
	450	253.2	466.9	32.0	83.4
	600	141.1	211.2	59.5	88.7

注1) 各試験値は3試験片の平均値を示す

注2) 鋼材の降伏応力はフランジの常時試験結果より

$$\sigma_y = 364.6 \times 10^2 / 9.8 = 3720 \text{ kg/cm}^2$$

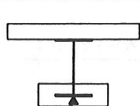
3. 実験結果

(1) ひずみ

表6に示すように、プレストレス導入時のひずみに載荷時に発生するひずみを加え、加熱時には鋼材の長期許容応力度の1.2倍の応力が発生しており所定の載荷状態での加熱実験であることを確認した。

表6 鋼梁載荷時のひずみと応力の関係

試験体No.		プレフレク ション時	リリース 時	自重・クリー プ乾燥収縮	載荷時	合計
2時間用 (No. 1)	ひずみ ($\epsilon\mu$)	1299	-349		757	
	発生応力 ($\sigma\text{kg/cm}^2$)	2728	-733	-565	1590	3020
	応力比 (σ/σ_a)					1.22
2時間用 (No. 2)	ひずみ (μ)	1192	-358		1020	
	発生応力 ($\sigma\text{kg/cm}^2$)	2503	-752	-565	2142	3328
	応力比 (σ/σ_a)					1.34



注1) ひずみは鋼梁下フランジの値を示す(左図▲印)

注2) 自重・クリープ乾燥収縮による応力は計算値を示す

注3) σ_a は鋼材の実降伏点から求めた長期許容応力を示す ($3720 \times 2/3 = 2480 \text{ kg/cm}^2$)

注4) 応力 $\sigma = 2.1E6 \times \epsilon$

(2) 耐火性能

図6に各試験体の加熱時間と変形の関係を示す。2時間用 (No.1)・3時間用 (No.3) 試験体共に所定の時間内では、たわみ量・たわみ速度共に規定値の1/2以下の値であり、プレビュー合成梁は十分な耐火性能を有していることが確認できた。

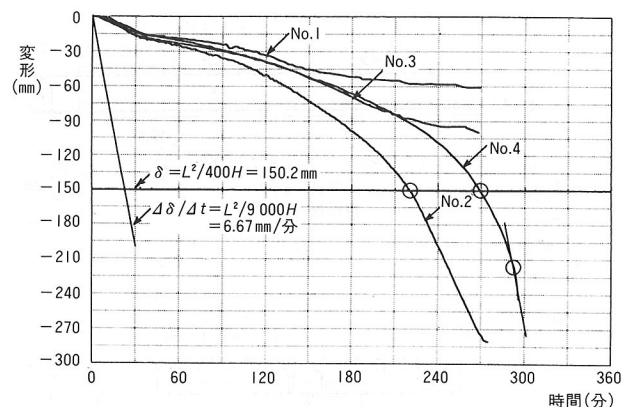


図6 加熱時間と変形の関係

(3) 試験体の温度

試験体の温度測定結果について、各部材の主要箇所における平均値を、図7～図10に示す。2時間用 (No.1) 試験体の温度は、加熱開始後2時間で、鋼梁が250℃、コンクリートが380℃、スラブ裏面では130℃と低い。3時間用 (No.3) 試験体の温度は、加熱開始後3時間で、鋼梁が400℃、コンクリートが600℃、スラブ裏面では150℃とかなり高くなる。特に鋼梁ウェブの温度は、2時間を過ぎてから急に上昇することが確認された。

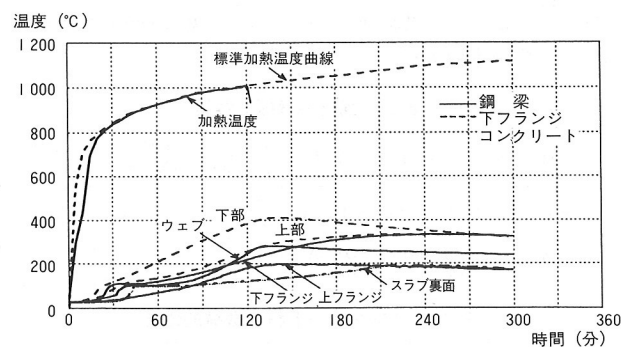


図7 温度測定結果 2時間用試験体 (No. 1)

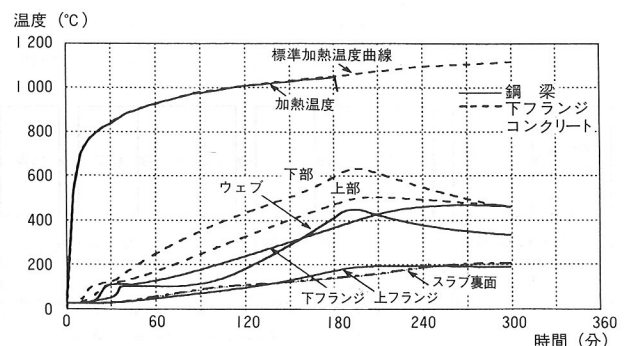


図8 温度測定結果 3時間用試験体 (No. 3)

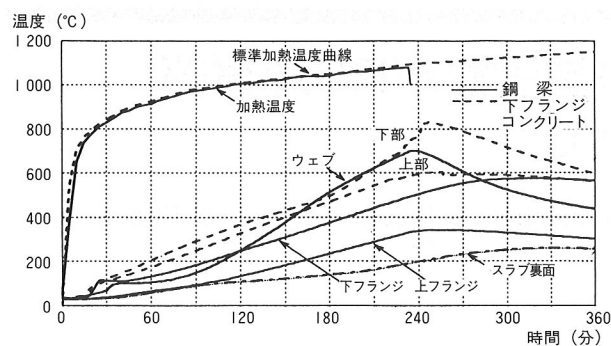


図9 温度測定結果 2時間用試験体(No.2)
(破壊まで加熱した結果を示す)

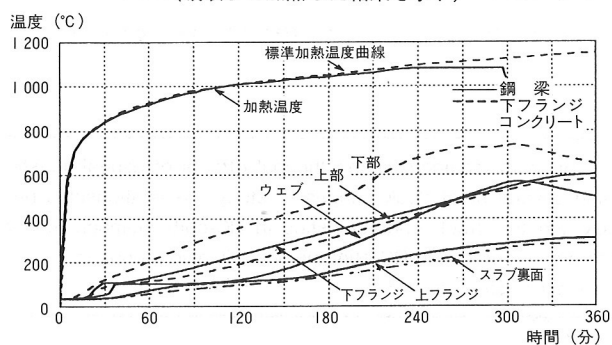


図10 温度測定結果 3時間用試験体(No.4)
(破壊まで加熱した結果を示す)

(4) 加熱後の梁の状態と終局耐荷力

2時間用(No.1)・3時間用(No.3)の試験体は、加熱後約半日間自然冷却した後に、梁中央で最大変形時の約5割のたわみが残留しており、下フランジコンクリートに1～2mm幅のひび割れがほぼ20cm間隔で生じていた。写真1に示すように、下フランジコンクリートには角部の剥離が生じ、またスラブコンクリートには下面に多少の剥離が生じていたが、共に大きな欠落や鋼材の露出はなかった。次にこの試験体を冷却後、破壊に到るまで載荷した時の荷重-変形関係を図11に示す。各梁の終局耐荷力はそれぞれ、124.0t、123.8tであった。破壊性状は、共に鋼梁下フランジ降伏後、載荷点付近のスラブコンクリートが圧壊したものであった。この耐荷力は、下フランジコンクリートを無視し、鋼梁のプレストレスも抜けたと仮定した場合の、梁の終局耐荷力の計算値121.4t(表1参照)とよく一致する。このことから、2時間および3時間の加熱後の梁は、変形は残るものの、耐荷力は損なわれないことが確認できた。

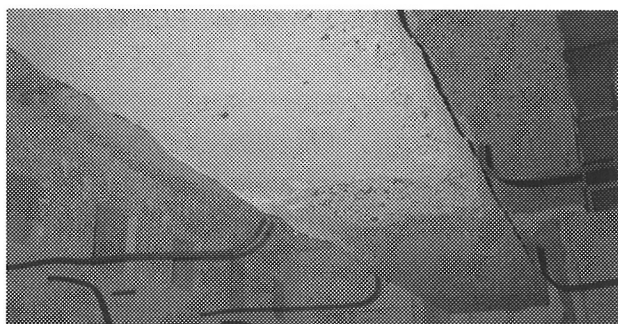


写真1 2時間加熱後の試験体(No.1)の状況

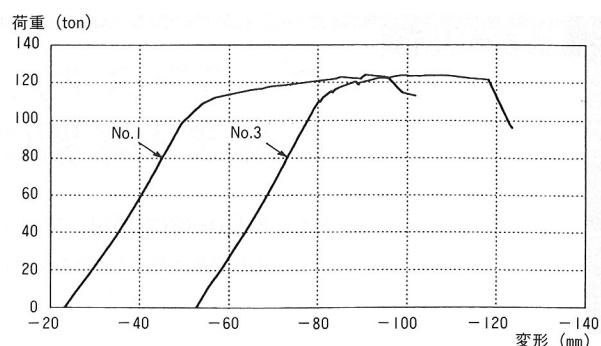


図11 破壊に到るまで載荷した時の荷重-変形関係

(5) 鋼材降伏点付近まで載荷した場合の加熱実験

最初の2基の試験体で、プレビーム合成梁が十分な耐火性能を有していることが確認されたため、残り2基の試験体については鋼材降伏点付近まで載荷力を高め、破壊に到るまで加熱を続けるものとした。結果は図6に示すように2時間用(No.2)試験体が、218分で許容たわみ量を超え、272分で破壊した。破壊後の状態を写真2に示す。破壊性状は鋼梁ウェブのせん断破壊後、加圧点のスラブコンクリートが圧壊した。この時の鋼梁ウェブの温度は図9に示すように700°Cに達しており、熱による強度低下が生じたと考えられる。3時間用(No.4)試験体は、268分で許容たわみ量を超え、302分で破壊した。破壊性状は、鋼梁下フランジ降伏後、スラブコンクリートが圧壊した。鋼材温度については、図10に示すように、600°C以下であった。

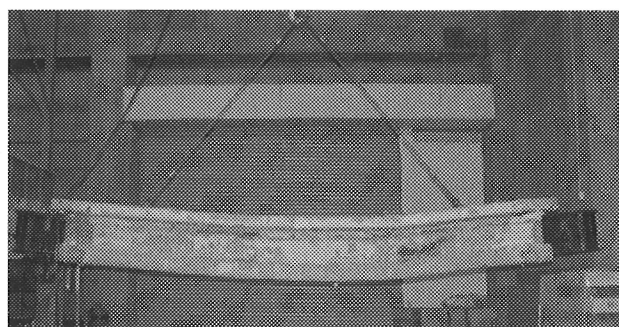


写真2 試験体(No.2)鋼梁ウェブのせん断破壊

4. まとめ

H鋼梁の上フランジとウェブに耐火被覆を行ったプレビーム合成梁の耐火性能について、載荷加熱実験による確認を行った。上記プレビーム梁は、所定の耐火時間を満足しており、十分な耐火性能を有することが確認できた。また、2時間および3時間の加熱では梁の耐荷力はほとんど損なわれないことが確認された。今後は、被災後の梁の補修方法についても、検討する必要がある。

参考文献

- 1) 千葉工業大学建築学科、(財)建材試験センター：プレビーム建築ばりの耐火性能実験、昭和44年8月。