

## PC 桁の火災試験

### PC 桁耐火性研究会

#### 1. ま え が き

PC 桁は各種の利点のために、近年、鉄桁、合成桁にかわって盛んに用いられるようになったが、国鉄においても、最近大阪環状線、山陽本線 百間川、日豊本線 小丸川橋梁その他の工事に入札の結果、これらの条件では合成桁、鉄桁にくらべて 10~30% 程度経済的であることがわかった。PC 桁にもまだ技術的に解明しつくしていない分野があり、耐火性の問題がその一つであった。プレテンション部の部材、またはポストテンション部の小さい部材については、いままでに多くの研究結果があるが、橋桁用の大きなポストテンション部の部材については、世界でもほとんど実験が行われていない。PC 桁を都市の高架橋に使用する場合には、ぜひこの点を確認しておく必要があるため、この試験が行われたのである。

試験計画は 33 年 8 月頃より進められ、PC 技術協会において研究会を数回開催し、吉田徳次郎先生を中心に、猪股俊司氏、川越邦雄氏、ほか土木、建築、化学関係各方面の権威者の御指導、御協力を頂いて、国鉄関係者が検討を重ねた。また試験の実施に当っては、国分正胤先生、坂 静雄先生にも現地において、いろいろ御意見を頂いた。試験工事は国鉄東京工事局で設計し、試験の実施には構造物設計事務所、鉄道技術研究所、建設省建築

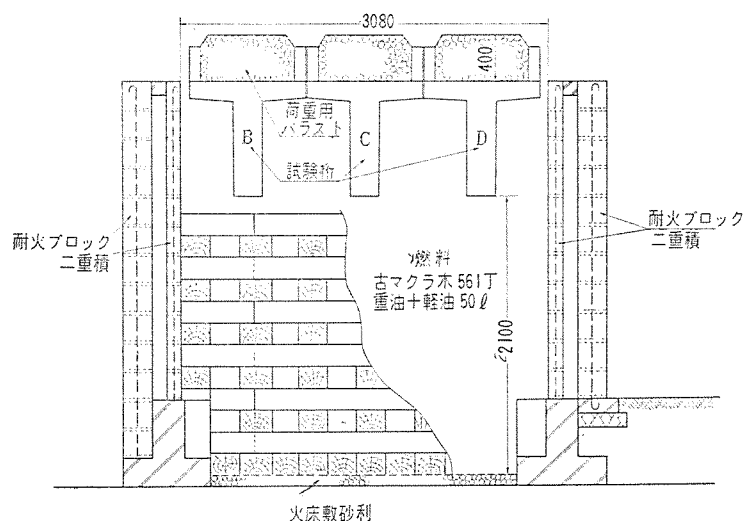


図-1 加熱の方法

研究所などが参加した。試験工事の請負は、オリエンタル・コンクリート KK で、PC 鋼線の試験には神鋼鋼線鋼索 KK のご協力を頂いた。

#### 2. 実験の概要

##### (1) 研究内容

PC 桁の耐火性を判定するため、次の各項について試験を行った。

- 火災中における PC 桁内部の温度測定
- 火災中における PC 桁のたわみの測定
- 火災中における PC 桁の縦方向の伸びの測定
- 火災中において、コンクリートに爆烈、はく落等が生ずるかどうかなを確かめる。
- PC 桁が加熱された状態に対して、注水を行った場合に生ずる現象を確かめる。
- 火災終了後、桁に載荷試験を行って、桁のひびわれ荷重、破壊荷重、たわみなどを測定し、火災を受けない桁との比較を行う。

##### (2) 設備一般

試験場所はオリエンタル・コンクリート多摩工場敷地内である。試験桁は桁高 1 m、全長 13 m のもの 4 本を製作した。火災試験設備としてはブロック積の壁でかこんだ仮設の炉を構築した (図-1)。燃料は古マクラ木を使用し、加熱速度は JIS A-1302 の標準加熱曲線に一致させるようにつとめた。温度測定は、米国ホスキンス社製アルメル・クロメル熱電対を用いて行った。火災試験中、試験桁の上に荷重としてバラストを 40 cm 厚に積載した。火災をうけた 3 本の桁 (B,C,D) はそのあとで曲げ試験を行った。曲げ試験は、試験桁の上に試験桁と平行に古鉄桁を配置し、スパン 12.4 m の位置で試験桁を高張力鋼棒でつり、両桁の間にジャッキを挿入して行った。火災試験を行わない 1 本の桁 (A 桁) の曲げ試験は、

工場所の載荷台において行った。ジャッキはいずれも分離式油圧ジャッキ (容量 100 t) 2 台を使用し、スパン中央に 2 点荷重 (間隔 1 m) を加えた。

##### (3) 試験桁

試験桁の設計は 図-2 のとおりである。

PC 鋼線は冷間引抜後ブルーイングを行った  $\phi 7.0$  mm のもので、引張強度は  $162 \text{ kg/mm}^2$ 、降伏点応力度は  $144 \text{ kg/mm}^2$  である。コンクリートの配合は、 $C=440 \text{ kg/m}^3$ 、 $w/c=38\%$ 、 $S/A=38.5\%$  で材令 28 日の圧縮強度は A,B,C,D 桁についてそれぞれ  $422, 417, 416, 447 \text{ kg/cm}^2$  であった。

プレストレス導入は、材令 11~18 日の間

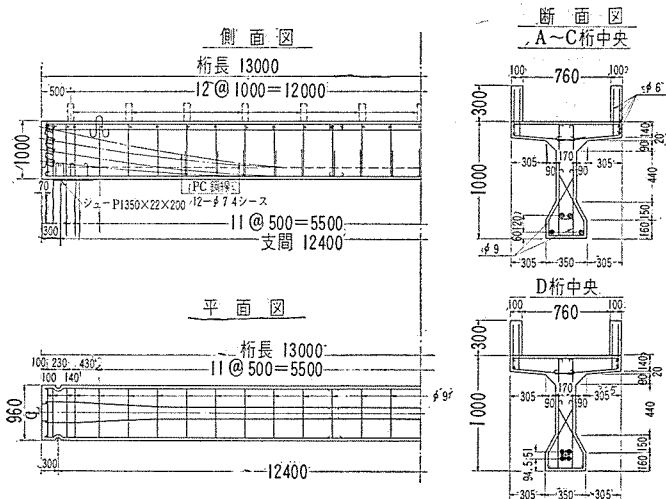


図-2 試験桁設計図

に行い、PC鋼線の引張応力度は、緊張直後 96.4 kg/mm<sup>2</sup>、試験時有効 86 kg/mm<sup>2</sup> で、試験時におけるコンクリートの合成応力度は下縁 129 kg/cm<sup>2</sup>、上縁 -6 kg/cm<sup>2</sup> である。

### 3. 火災試験

#### (1) 予備試験

火災試験で最も問題であったのは、野外に仮設した炉に安易に得られる、例えば古マクラ木のような燃料を用い、JIS A-1302 の標準加熱曲線が得られるかどうかという点であった。そのため本試験に先立って燃焼試験を行い、加熱方法を研究する必要があった。このため構築した炉を二つに仕切り、それぞれ上面を防火吊天井でおおい、燃焼試験を行って加熱方法を検討した。燃料はそれぞれ炉の半分の面積あたり、古マクラ木 182 丁および 260 丁と重・軽油混合物若干とである。予備試験の結果より、この方法による加熱で、ほぼ JIS の標準加熱曲線 (I 級) が得られること、温度測定方法も適当であることなどがわかった。

#### (2) 火災試験

炉の上部を試験桁 3 本 (B,C,D) を併列しておおい、予備試験で検討された方法に従って加熱を行った。火災中、次の要領で測定を行った。

a) 温度測定は試験桁製作時に桁内に径 7 mm の鋼管を埋込んでおき、加熱前にこの管を通して熱電対を配置して行った。埋込む位置はスパン中央と約 1/4 点に、それぞれ 7 カ所および C,D 桁の中間の炉内温度 2 カ所とした。全部で 65 点である。

b) 試験桁の伸びは、ダイヤルゲージを用い、たわみはレベルを用い、また桁から引出したピアノ線の先端の上下をスケールにより測定した。

c) 耐火保護工の効果を確かめるため、試験桁 1 本 (C 桁) にパーライトモルタルを厚 2 cm に塗布した。

d) 火災最盛期終了後、D 桁側面に注水して、注水により桁が破壊することがないかどうかを確かめた。

本試験においては試験の経過はつぎのとおりである。

火床面積 : 3.08 × 10.8 m = 33.264 m<sup>2</sup>

火床上空頭 : 2.1 m

燃 料 : 古マクラ木 466 丁、古分岐マクラ木 52 丁、重油 + 軽油 50 l

点火後 2 分後に B 桁のコンクリートの小片が飛散し、5 分後頃より小音響を発生して、コンクリートのはく落が連続して発生した。10 分後頃より、はく落はさかになり、15 分後 D 桁もはく落をはじめた。1 時間 55 分経過までは小はく落がつづいたが、1 時間 55 分経過したときに、D 桁が相当大きな音響をともなって反り上った。2 時間 10 分経過したときに加熱を中止し、消防車によって消火を行った。この場合、水は燃料のみにかけることにした。コンクリートの破片は表面よりはく落したものは厚さ 10 mm 以下のものが多く、隅角



写真-1 B 桁の被害状況



写真-2 C 桁の被害状況

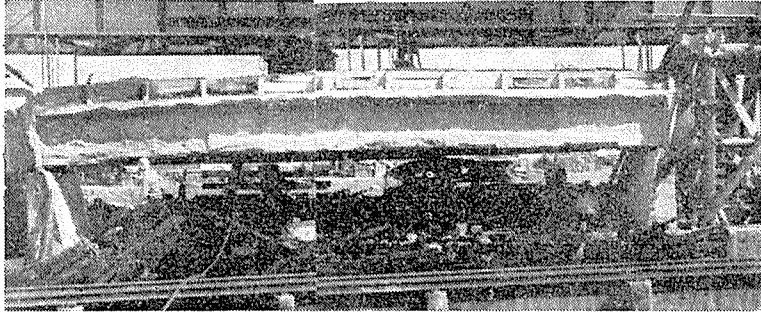


写真-3 D桁の被害状況

部がはく落したものは厚さ20mm程度のものもあった。

2時間30分で完全に鎮火した。2時間40分頃D桁側面に直接消防車により放水したが、桁には全く異常を生じなかった。B,C,D桁の変状の状態はそれぞれ写真1,2,3のとおりである。C桁の防護モルタルは、試験のつごうで十分に材令をとることができず、わずかに4日であったため点火後時間は十分な効果をあげ得たが、2時間後には大部分はく落してしました。

炉内温度は図-3のとおりである。PC鋼線の温度およびコンクリート内部温度の一例を示すと図-4のとおりである。桁の反りは図-5のとおりである。本試験に

よって、この程度の大きさのPC桁は、JIS標準加熱曲線におけるI級、II級の中間(加熱時間2時間10分)の火災を受けても爆烈をおこすおそれのないことが判明した。火災時の桁のコンクリートの含水量は約5%であった。温度測定の結果より、コンクリートのかぶり、温度差との関係は点火後1時間と2時間とはほとんど一致しており、点火後2時

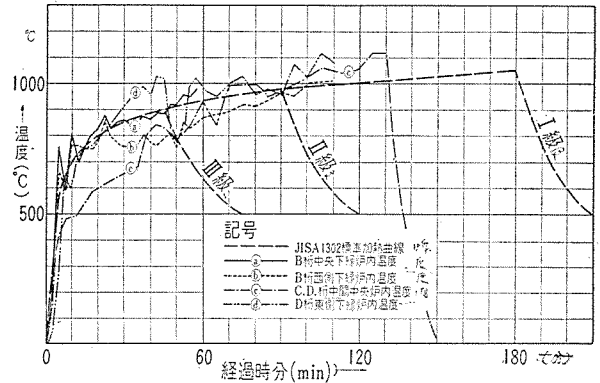


図-3 火災試験(本試験)における炉内温度

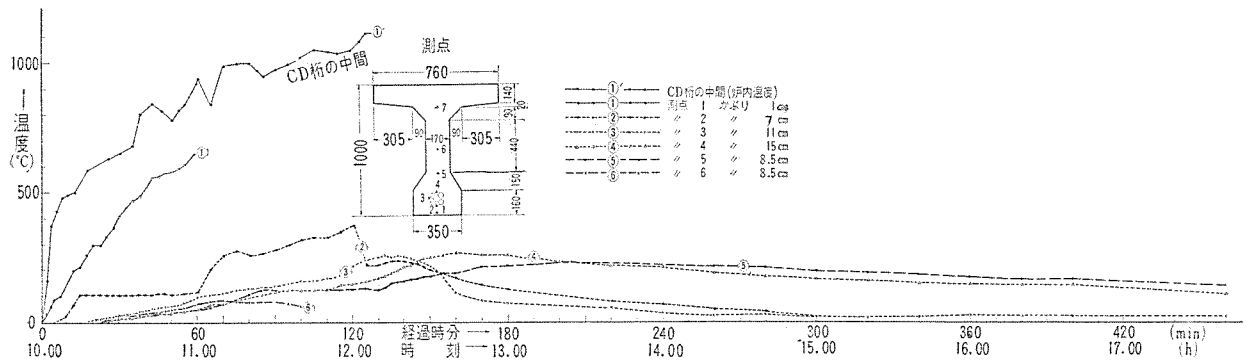


図-4 D桁中央時間-温度線図

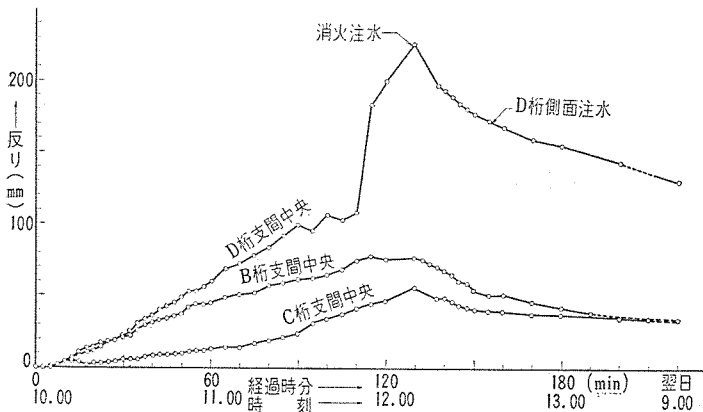


図-5 反り-時間線図

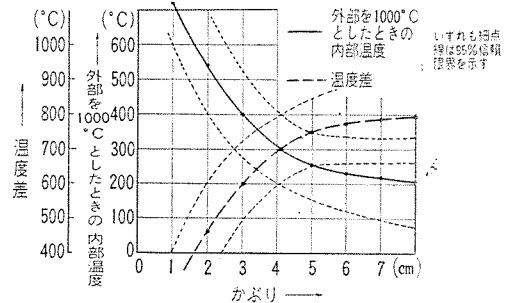


図-6 外部温度1000°Cの場合のコンクリートの内部温度

の関係を示すと、図-6の点線のようになり、1000°Cの火災をうけたときの内部温度が実線のように求められ

間の測定値を用いて、かぶり温度差とる。

すなわち1000°Cの火災をうけて鋼線の温度を350°C

以下に保つためには、3.5 cm の かぶり があればよいことになるが、測定値のばらつきを考えると 5 cm にとっておくのがよいと思われ、防護モルタルは 1 時間 25 分～2 時間でほとんどはく落して効果を失ったが、点火後 1 時間以内では厚さ 2 cm の防護モルタルは厚さ約 7 cm のコンクリートに相当する断熱効果を示していた。

#### 4. 載荷試験

##### (1) 載荷試験の要領

荷重は要点では 1 t きざみに、その他では 2～4 t きざみに加え、ひびわれが発生するまで加えたのち、一たん 0 に戻し、くり返し載荷を行った。A, B, D 桁は破壊するまで載荷したが C 桁は破壊の約 1/2 の荷重まで加えた。載荷によるたわみは、ダイヤルゲージおよびレベルにより測定し、コンクリートのひずみはワイヤーストレインゲージにより測定した。またひびわれの観測には、桁の下縁にアドヴァンス線をはりつけ、その切断する時期を電流計で監視した。C 桁については、桁の側面に石膏をぬりつけて、ひびわれの発生を監視した。

##### (2) 試験結果

破壊曲げモーメント、ひびわれ曲げモーメント、および荷重 14 t のときのたわみは表-1 のとおりである。

桁番号	ひびわれ曲げモーメント		破壊曲げモーメント		荷重 14t のときのたわみ	
	t-m	比率	t-m	比率	t-m	比率
A 桁	134	100	258	100	4	100
被害桁 B 桁	75	56	171	66	9	225
C 桁	75	56	—	—	8.5	213
D 桁	46	34	120	47	42	1050

表-1 各桁の載荷能力

比率は A 桁の数値を 100 とした場合を示している。

試験結果より考察すると、B, C 桁は側面、下面より平均 3 cm、D 桁は平均 1 cm のコンクリートがはく落または無力化しているものと考えられ、PC 鋼線の有効引張応力度は B, C 桁において 47.3 kg/mm<sup>2</sup>、D 桁において 33.2 kg/mm<sup>2</sup> 程度に減少しているものと考えられる。桁の反りから考察すると、PC 鋼線図心位置のコンクリートは、火災により、当初の弾性ひずみに対して B, C 桁について約 4.5 倍、D 桁について約 6.3 倍のクリープひずみを生じたものと考えられる。火災後における下縁コンクリートの合成応力度は B, C 桁については約 90 kg/cm<sup>2</sup>、D 桁については約 100 kg/cm<sup>2</sup> と推定された。温度測定の結果より見ると、下縁コンクリートの平均圧縮強度は各桁とも、ほぼ 150 kg/cm<sup>2</sup> と推定されるから、コンクリートのクリープが大きく表われるのは当然であり、また D 桁においては、局部的火災により下縁コンクリートの圧縮応力度が、圧縮強度を超過して crush したため、桁が大きく反り上ったものと考えられる。

PC 鋼線の温度測定結果を見ると点火後 1 時間 30 分までは 50～200°C の範囲であり、2 時間では一般に 70～400°C の範囲であったが、最高 460°C に達した点が 1 カ所あった。これより火災を受けたこれらの桁の PC 鋼線の引張強度は、一般に原材料の 98% 程度であると考えられ、局部的には 85% 程度に低下している所もあることになる。

また上突縁の中立軸以上のコンクリートの平均圧縮強度は 330～380 kg/cm<sup>2</sup> 程度と考えられ、PC 桁の破壊曲げモーメントの低下は主として、コンクリートの強度低下によるものと考えられる。

#### 5. 結 言

以上の試験による結論はつぎのとおりである。

(1) この試験に用いた程度の大きさの PC 桁では、少くとも 2 時間、最高温度約 1100°C の火災をうけても烈をおこすことはない。

(2) PC 桁外面が継続時間 2 時間、最高温度 1000°C の火災をうけた場合、かぶりが 5 cm 以上あれば冷却後の PC 鋼線の強度はほとんど低下しない。

(3) 有効な吊天井または防護モルタルを施工すれば、桁の耐火性はそれぞれ 1 時間以上延長され、I 級火災に耐えうる。

(4) 内部温度 150～220°C の PC 桁に直接注水しても危険はない。

(5) 火災をうけた PC 桁は、その被災の程度によっても異なるが、主としてコンクリートの強度低下のためにその載荷能力が減少し、この試験では、曲げ破壊抵抗において 47～66% になっている。

以上御報告するに当って、この実験の実施に御指導、御協力を頂いた諸先生方および関係の方々に厚く謝意を表する次第である。

( 国鉄施設局管理課長 (元土木課長) 仁杉 巖 )  
( 国鉄施設局土木課長補佐 菅原 操 )