

第V部門

プレテンション PC 桁の火災時の熱伝導解析と耐荷特性

大阪工業大学工学部 学生員 ○越野 まやか

大阪工業大学工学部 正会員 井上 晋

大阪工業大学工学部 正会員 三方 康弘

1. 研究目的

実構造に用いられる JIS プレテンション桁の火災被災後の各種構造特性と補強効果を確認することを最終目的として、本年度は、熱伝導解析により PC 鋼材の受熱温度を推定するとともに、その耐荷特性について検討した。

2. 供試体の概要

供試体は図-1,2 に示すような、上幅 640mm、下幅 700mm、全長 5300mm、かぶり 50mm のプレテンション PC 桁(JIS A 5373 に規定されるプレテンションスラブ橋桁(AS 05))とした。また、PC 鋼材には $\phi 12.7$ の PC 鋼より線を使用し、コンクリートの設計基準強度は $f'_{ck}=50 \text{ N/mm}^2$ とした。導入プレストレスは上縁で $\sigma'_{ct}=0.4 \text{ N/mm}^2$ 、下縁で $\sigma_{ct}=10.1 \text{ N/mm}^2$ である。

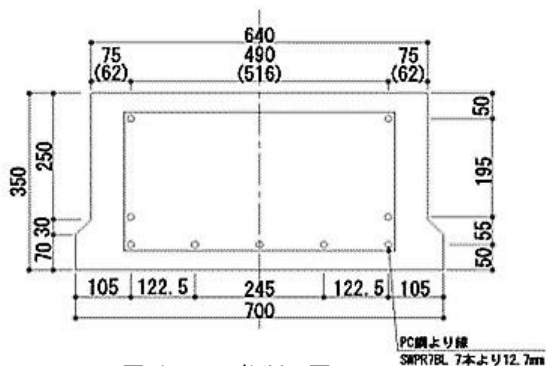


図-1 PC 桁断面図

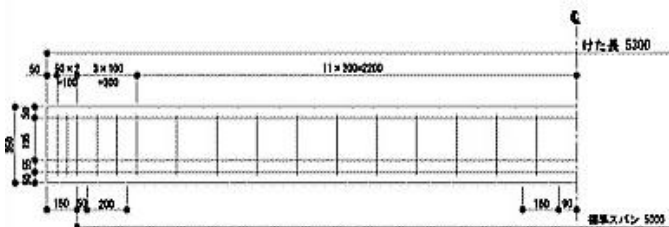


図-2 PC 桁側面図

3. 付着応力—自由端変位関係¹⁾

付着強度試験供試体は、かぶり 30, 50, 70mm、最高温度は、加熱なし、700, 900, 1100℃、鋼材径は 12.7, 15.2mm である。なお加熱時間はいずれも 30 分である。

700℃, 900℃, 1100℃の温度履歴の全てにおいて共通することは、かぶり 70mm では付着強度の低下が大きくはないということである。しかし、かぶり 30mm では付着強度および初期剛性の低下が大きいという傾向が認められた。

また、温度履歴による違いは、高温であるほど付着強度および初期剛性の低下が著しくなった。

4. 熱伝導解析

加熱を受けた供試体内部の受熱温度について、1次元差分モデルによる熱伝導解析を行った。なお、解析には汎用プログラム SOFiSTiK を用いた。

4.1. 解析モデルおよび諸条件

解析に用いたモデルを図-3 に示す。

解析における火災曲線は、最高温度 1100℃の火災曲線 (HC1100) を使用し、加熱時間は 30 分間とした。この条件を底辺のみに与えた。この火災曲線は、式 (1) に示す Eurocode²⁾ で定義されている油火災を対象とした炭化水素曲線 (HC 曲線) である。その他の境界は、過年度の解析データを参考にして、初期値を試験開始直前の供試体内部平均温度とし、外気へ放熱を行う状態を設定している。これらの諸条件で熱伝導解析を行い、供試体内部の PC 鋼より線 9 本のうち最下部 5 本について温度履歴の検討を行った。

$$\theta_{1100} = 20 + 1080 (1 - 0.325 - 0.675e^{-2.5t}) \quad (\text{式 } 1)$$

θ : 温度 (℃), t : 時間 (min)

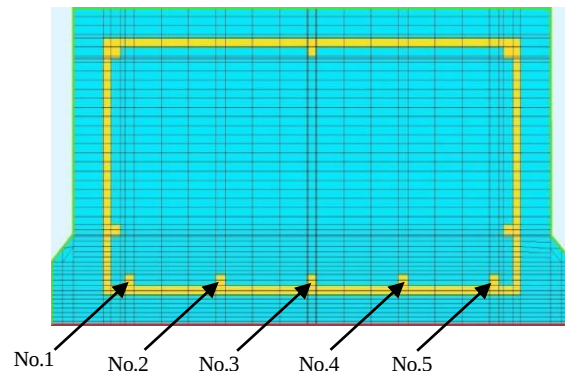


図-3 PC 鋼より線の位置

4.2. 解析結果

図-4より、加熱開始から約5分～15分の間温度上昇が滑らかではなく、その後温度上昇が大きくなっているのは潜熱の影響であると考えられる。また、PC鋼より線の位置が左右対称となっているため、温度上昇が等しくNo.1とNo.5、No.2とNo.4の曲線は重なっている。

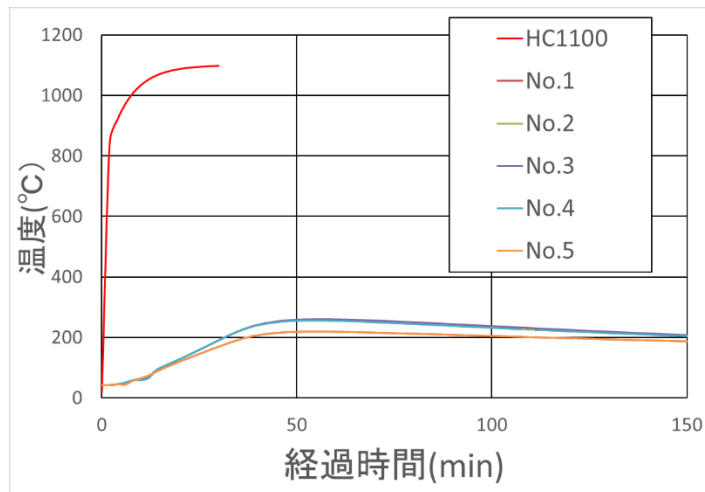


図-4 PC鋼より線受熱温度変化

図-4より加熱時間は30分であるが、PC鋼より線の受熱温度が最大となるのは、加熱開始から58分後で最高受熱温度の平均値は、241.6°Cであった。

加熱時間は30分であり、その後外部からの熱は、周囲の温められた空気の影響のみである。60、90分後ゆっくりと上部の方に熱が伝わっている。これは、コンクリートの熱拡散率の影響である。

また、側面に近いほど内部より温度が低くなっている。これは、側面や上部に周囲の空気に触れている条件で解析しているため、周囲の空気へ熱が放出されているからである。

5. PC桁の荷重試験

5.1. 荷重試験概要

PC桁供試体の荷重試験は、曲げスパン1000mm、せん断スパン1850mmとした対称2点集中荷重方式とし、破壊に至るまで単調漸増型荷重を実施した。なお、せん断スパン比 a/d は $a/d = 6.17$ ($a=300\text{mm}$) となっている。

5.2. 設計耐力

表-1の曲げせん断耐力比より、破壊形式は全ての試体で曲げ破壊となると推察される。

表-1 設計曲げ耐力および設計せん断耐力

設計曲げ耐力 $M_{ud}(\text{kN}\cdot\text{m})$	設計せん断耐力			(設計)曲げ 破壊荷重 $P_{bud}(\text{kN})$	(設計)せん断 破壊荷重 $P_{sud}(\text{kN})$	曲げせん断 耐力比
	$V_{cd}(\text{kN})$	$V_{sd}(\text{kN})$	$V_{yd}(\text{kN})$			
333.8	214.7	66.3	281	361	562	1.56

5.3. 荷重試験結果

表-2に示すように、実強度を考慮したファイバー法で設計曲げ破壊荷重を求めた結果、実測値に近い値を得ることが出来た。

表-2 最大荷重実測値および曲げ耐力計算値

最大荷重 実測値 $P_{max}(\text{kN})$	設計曲げ 破壊荷重 $P_{bu}(\text{kN})$	最大荷重 実測値比 P_{max}/P_{bu}
368.8	361	1.02

5.4 高温履歴を受けたPC桁供試体の耐力

最下部のPC鋼より線について、プレストレス力の低下および、付着強度の低下を考慮して計算した結果を表-3に示す。この表より、定着域を加熱した場合(HC1100-W)の耐力低下率が約14%、端部を加熱しない場合(HC1100)の低下率が約4%となった。

表-3 高温履歴を受けた桁供試体の耐力計算結果

供試体名	設計曲げ耐力 $M_{ud}(\text{kN}\cdot\text{m})$	設計曲げ 破壊荷重 $P_{bud}(\text{kN})$	プレストレス力 減少および 付 着力低下を考 慮した曲げ耐 力 $M_{buTF}(\text{kN}\cdot\text{m})$	プレストレス力 減少および 付 着力低下を考 慮した曲げ耐 力 $P_{buTF}(\text{kN})$	曲げ破壊 荷重比 (P_{buTF}/P_{bud})	曲げ耐力 低下率 (%)
健全な供試体	333.8	361	—	—	—	—
HC1100	—	—	319.1	345	0.96	4.4
HC1100-W	—	—	287.7	311	0.86	13.8

6. まとめ

付着応力-自由端変位関係より、700°C、900°C、1100°Cの温度履歴の全てにおいて共通して見られる傾向は、かぶり30mmでは付着強度の低下が大きく、かぶり70mmでは付着強度の低下が大きくないということである。熱伝導解析では、PC鋼材のおおよその受熱温度を推定した。経過時間58分でPC鋼材の最高温度が241.6°Cになった。荷重試験では実強度を考慮したファイバー法で設計曲げ破壊荷重を求めた結果、実測値に近い値を得ることが出来た。

参考文献

- 1) 横山直之: 火災による高温履歴を受けたプレテンションPC梁部材の残存耐荷特性, 大阪工業大学大学院修士論文, 2014.1
- 2) Eurocode 1: Actions on structures-Part 1-2: General actions-Actions on structures exposed to fire, pp. 24-25, 2002. 11.