

有限要素法解析による長支間場所打ち PC 床版の施工時における応力評価に関する研究

FEM analysis of the concrete stress in cast-in-Place PC Deck under construction

倉田幸宏*, 河西龍彦*, 高瀬和男*, 丸山久一**

Yukihiro KURATA, Tatuhiro KASAI, Kazuo TAKASE, Kyuichi MARUYAMA,

*日本橋梁建設協会 床版研究委員会 (〒104-0061 東京都中央区銀座2丁目2番18号)

**Ph.d. 長岡技術科学大学教授 環境・建設系 (〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町1603-12)

The hysteresis of thermal change and stress of the deck slab concrete due to the heat of hydration can be analyzed precisely with the nonlinear thermal stress analysis. We devise the method of taking the effect of expansive admixture into the analysis. And validity of the method was examined by comparing it with the results of full-scale model test. Moreover, the stress of the deck slab concrete through the construction can be analyzed precisely in combination with linear structural analysis about the working loads by FEM.

Key Words: the early age concrete ratio of young's modulus, thermal stress, cast-in-place pc deck, nonlinear thermal stress analysis, effect of expansive admixture, full-scale model test

キーワード: 若林齢ヤング係数, 非線形温度解析, 熱伝導率, 膨張材効果, 実物大供試体, 場所打ちPC床版, 温度応力

1. まえがき

現在, 国内において移動型枠を用いた長支間場所打ち PC 床版を有する鋼 2 主桁橋の計画・建設が数多く行われている。これらの橋梁は, 耐久性に優れた PC 床版と部材数の低減を目的とした少主桁を組み合わせることにより合理化・省力化を図った橋梁であり, LCC などの観点からも今後の標準的な橋梁形式の 1 つとして採用されることが考えられる。これらの橋梁形式の場合, 床版支間が従来の多主桁と比較して大きい床版が厚くなり, コンクリート材齢初期の水和熱の温度降下による影響, PC 鋼材の緊張による影響, 移動型枠のリバウンド, および隣接径間施工時の負曲げの影響が課題として挙げられる。

筆者らは, これらの課題を解決する目的で実物大供試体による移動型枠を用いた場所打ち PC 床版の施工検証実験を実施した。実験の目的は, 床版施工時の床版に発生する応力を把握すること, 特に先行ブロックによる収縮拘束の影響を定量的に把握することにあった。この目的のために, 床版の打設から約 1 ヶ月の期間に集中的な計測を実施した。また, この実験を忠実に再現する目的で, 有限要素法による施工時における応力を, PC 緊張やジャッキアップ, 床版(型枠)自重などの外力に対して桁の変形を考慮した線形立体解析と, 温度応力および乾燥収縮応力の算出に対する非線形温度解析を実施することにより評価した。非線形温度応力解析を実施するに

あたっては各種のコンクリートのひずみ特性や物性値の精度度が最も重要であり, これらの値が解析結果として算出される床版コンクリートの温度応力に与える影響は大きいと予想される。また, 一般的に用いられているコンクリート物性値を床版コンクリートのように体積と表面積の比が非常に小さい平面構造物への適用の可否についても検討する必要があった。温度解析における物性値の妥当性と温度解析における評価の現状について, 本論における検討方針も含めて以下に記述する。

1) コンクリートの断熱温度上昇特性

断熱温度上昇量は断熱状況下におけるコンクリートの温度上昇量を意味し, 使用するコンクリートの配合(セメントの種類や使用量)などによって変化するもので, 温度解析においては内部温度算出の際の最も重要な基礎データとなるものである。これまで, 一般的にはコンクリート標準示方書(以下コ示と示す)に示される値が使用されてきたが, 本検討では断熱温度上昇試験結果を直接採用する手法を提示する。

2) 熱伝達率

床版上面と下面の熱伝達率について, 施工時期, 施工環境, 養生方法, 型枠の種類などに応じた適切な値が設定されない場合, 解析結果と実際の床版温度には差異が出ると考えられる。これらも一般的にはコ示に示される値が使用されてきたが, 本検討では実験結果から熱伝達率を推定したものを比較対象とする。

3) 膨張材の効果と収縮ひずみ

従来の温度応力解析においては、自己収縮および乾燥収縮の評価はコ示に示される式を適用し、断面に対して一様な収縮ひずみを入力している。従来は膨張材の効果については考慮していないが、本検討では膨張材の効果をも考慮する。

4) 若材齢時におけるコンクリートの物性値

材料的な非線形性を有するコンクリートにおいて、若材齢時におけるヤング係数などのコンクリートの諸物性値には未だ未解明な部分が多く、非線形温度応力解析においてはこれまではコ示に示される値が使用されてきたが、本検討ではコンクリート材料試験を実施したためその計測値を直接入力する手法を比較対象とした。

図-1にコンクリート材料試験の若材齢時におけるヤング係数計測値を示す。

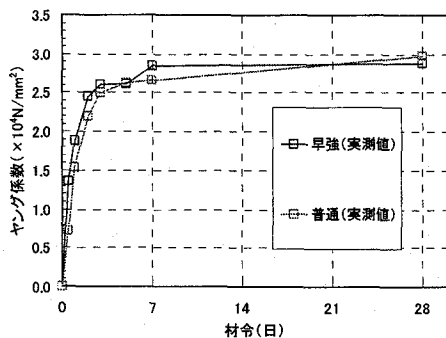


図-1 コンクリート材料試験によるヤング係数の計測値

従来の長支間場所打ち PC 床版を有する鋼 2 主桁橋の検討では温度応力解析、および、PC 緊張やりバウンドなどの個々の弾性解析をする事により床版応力を推定するのに留まっており、実測値との比較による検証をして物性値の再評価を実施した事例は過去にはない。本論文では、この実物大供試体実験における計測結果と解析結果とを比較する事により、解析モデルの物性値などを検証し、かつ場所打ち PC 床版の材齢初期における温度応力を解析面から評価し、床版に発生する応力を忠実に把握する。

2. 実物大供試体による施工検証実験の概要

図-2に実物大供試体の一般図を示す。床版の温度応力や鋼桁による拘束等の影響を正確に評価するため、供試体は床版、鋼桁とも実物大として、床版支間長は現在国内における最大の床版支間を想定して 11m とした。

床版の施工は、ブロック①を先行してコンクリートを打設し、その 2 週間後にブロック②およびブロック③床版を同日施工で打継ぐ施工を実施した。実物大実験における製作ステップを図-3に示す。STEP 7に示すように隣接径間施工時の負曲げについては単純桁である模型の支間中央部をジャッキアップすることにより再現し、床版にひび割れを発生させないために STEP 2 および STEP 5 において、材齢 1 日ないしは 1.5 日経過後緩くプレストレス

を与える 2 段階緊張方式を採用した。ここで、ブロック①および③に使用するコンクリートは移動型枠施工における標準的なコンクリートと考えている早強コンクリート（膨張材を添加）を使用した。一方、ブロック②は本検証実験が暑中施工であることに配慮して「普通コンクリート（膨張材を添加）」を使用した。表-1に実物大供試体に用いたコンクリートの配合を示す。

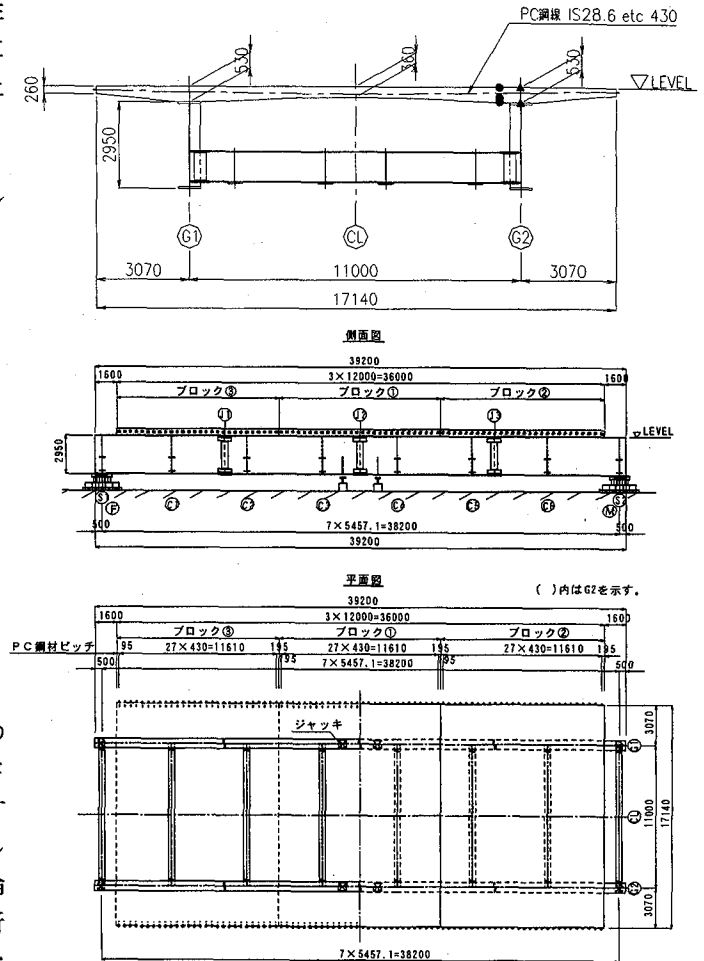


図-2 実物大供試体の一般図

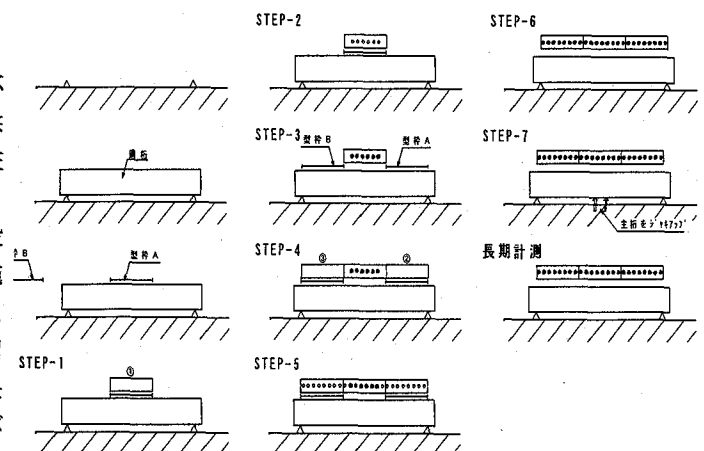


図-3 実物大供試体製作のステップ図

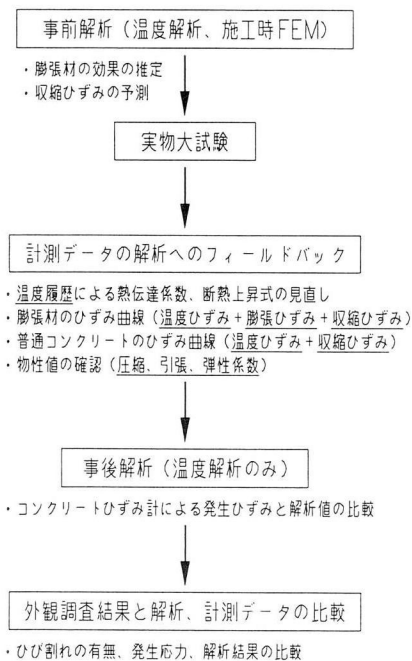
表－１ コンクリートの配合表

	SL (cm)	Air (%)	W/C (%)	S/a (%)	単位量 (kg/m ³)				
					W	C	S	G	膨張材
ブロック①③ (早強+膨張材)	14	4.5	42.6	44.3	160	346(H)	783	986	30
ブロック② (普通+膨張材)	14	4.5	42.6	44.3	160	346(N)	783	986	30

3. 有限要素法による施工時応力解析の概要

3. 1 解析概要

施工時の応力解析のフローを図－４に示す。解析は実験開始前の事前解析と実験後の事後解析を実施する事として、事前解析では実物大供試体試験開始前に、与えられた条件（形状、配合条件、施工条件）を用いて温度解析を行い、内部発熱量に伴って発生する温度応力を実験に先立ってシュミレーションする事を目的とした。

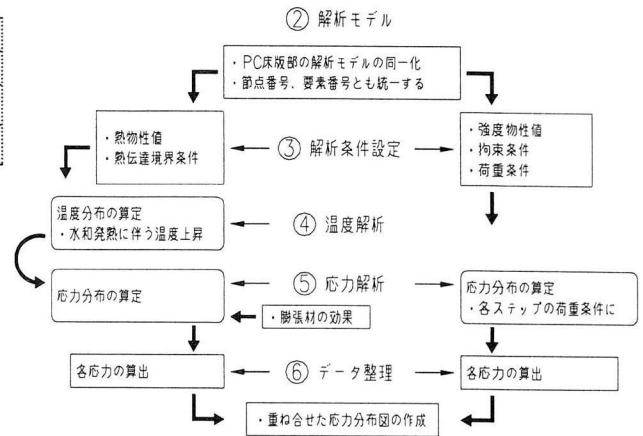


図－４ 施工時の応力解析フロー

さらに事後解析については実物大供試体試験によって得られた実測値（温度データ、強度データ）より、熱物性、強度物性を考慮して解析し、床版の実挙動に近いシュミレーションを行う。施工段階における FEM 解析は各施工ステップにおける荷重載荷ごとに、事前解析のみとした。解析プログラムについては、PC 緊張やジャッキアップ、床版（型枠）自重などの外力については汎用ソフトの NASTRAN を使用し、温度応力および乾燥収縮応力の算出には非線形温度解析プログラムの Astea-Macs を使用した。

なお、施工時における床版応力を評価するために、これら解析モデルの節点はすべて統一して、最終的に各解析で得られた各応力の成分を重ね合わせた。（図－５参照）

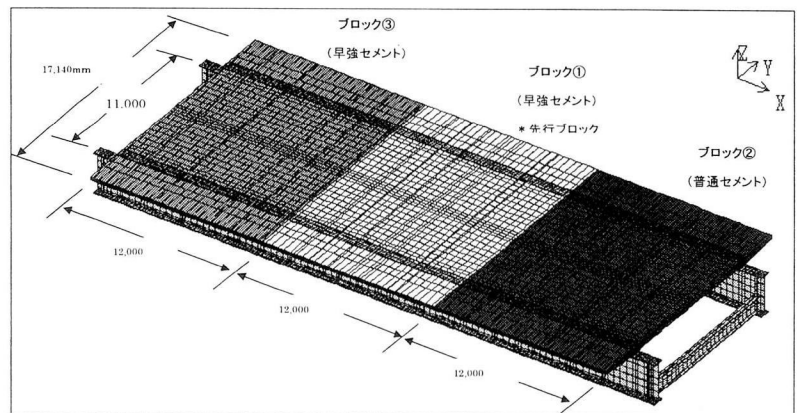
「ASTER-MACS」 ← ① 解析ソフト → 「NASTRAN」



図－５ 応力の重ね合わせ

3. 2 解析モデル

解析モデルは図－６に示したように実験供試体を再現した立体モデルとした。なお、鋼桁上フランジと床版下面は同一節点としてモデル化し、鋼桁については板要素として実物大供試体の鋼板厚と一致させ、床版についてはリッド要素として版厚形状を忠実にモデル化し、鉄筋コンクリートとして扱い、床版内部の鉄筋はモデル化しない事とした。



図－６ 解析モデル

4. 温度解析における熱物性値の検討

コンクリートの内部温度算出時に最も重要な基礎データとなる断熱温度上昇量、ならびに大気との間に熱の出入りがある境界面での特性値で、部材表面部の温度に大きな影響を及ぼす熱伝達率について検討する。

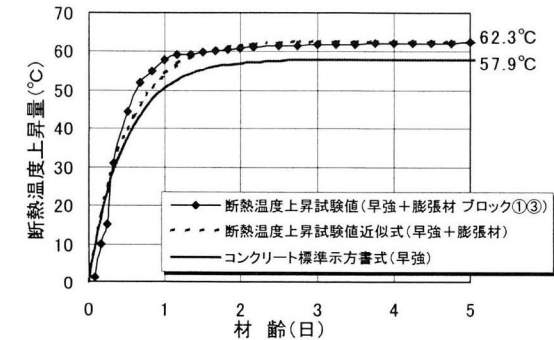
4. 1 断熱温度上昇特性について

断熱温度上昇量はコ示（土木学会）による式から算出される方法と断熱温度上昇試験から得られる実験値があるが、ここでは下記の断熱温度上昇試験から得られた床版の温度履歴と、実物大供試体の床版温度計測結果を比較する事により断熱温度上昇量について検討した。

図－７に早強セメント+膨張材についての断熱温度上昇量について示す。普通セメント+膨張材については上昇量については早強セメントと差異があるものの、コ示（土木学会）に

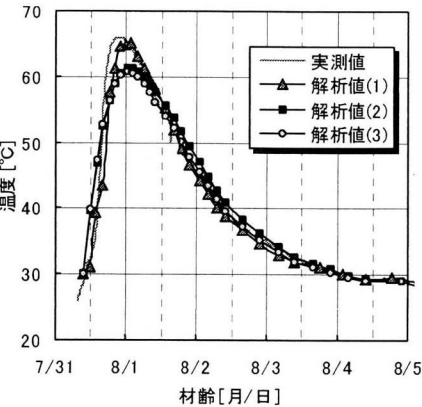
よる式と実験値を比較した結果は同じ傾向であったため、ここでの説明は省略する。

- (1) 断熱温度上昇試験結果を直接入力→解析 (1)
- (2) 断熱温度上昇試験結果を近似式で補間して入力 (コ示式の Q_{∞} , γ を変化させ近似)→解析 (2)
- (3) コ示式を入力→ 解析 (3)



図－7 断熱温度上昇量の比較

上記の断熱温度上昇量をパラメーターとした主桁上の床版中段位置での温度計測結果と解析結果との比較を図一８に示す。ここで床版中段位置とは最高到達温度の最も高い床版の厚さ方向における中心位置とする。コ示の断熱温度上昇式による解析値(3)は実測値と比較して、床版の最高到達温度は実測値の方が5℃程度高い値を示している事が確認できる。また解析値(2)は断熱温度上昇試験の結果を近似式で補間したケースであるが、解析値(1)と同様に最高到達温度は実測値の方が4℃程度高い値を示していた。これはコ示式や補間式では考慮されない水和熱によってコンクリート温度が上昇する時点における“S字状のカーブ”を描く温度上昇特性⁽¹⁾が原因と考えられる。解析(1)においては、断熱温度上昇試験による、“S字状のカーブ”を考慮した断熱温度上昇を入力しており、この解析結果は実測値とほぼ一致していることが判る。



図－8 床版中段位置の温度履歴

4. 2 熱伝達率について

熱伝達率については下記の熱伝達率から得られた床版の温度履歴と、実物大供試体の床版温度計測結果を比較する事により検討を加えた。(表一２)

- (1) コ示 (土木学会) に示されている参考値を適用 →

解析ケース①

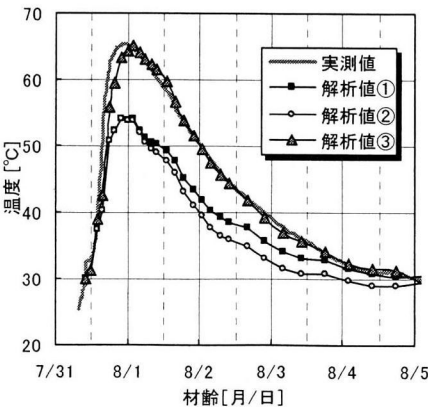
- (2) 床版コンクリートがマスコンなどに比べて体積/表面積比が小さい事を考慮して床版上面の熱伝達率を大きくした。→解析ケース②
- (3) 上記の理由から床版上面の熱伝達率を大きくし、さらに、本実験での施工時の状況(床版下面は地面に近い放熱しにくいなど)を考慮して床版下面の熱伝達率を小さくした。→解析ケース③

上記の熱伝達率をパラメーターとした主桁上の床版上面および下面の温度計測結果と解析結果との比較図を図一9と10に示す。なお床版中段位置については、伝達率によらず計測結果とほぼ一致していた。

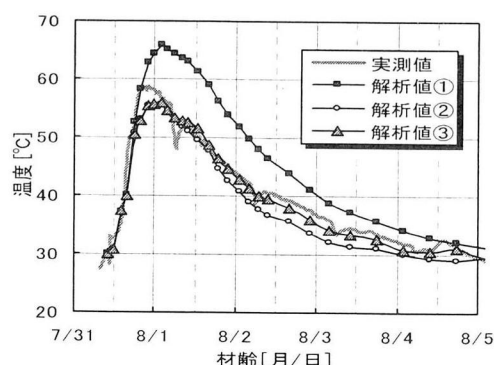
表一２ 施工時状態と熱伝達率の比較

部位		床版上面				床版下面・側面		鋼桁
材 齢 (日)		0～0.25	0.25～3.0	3.0～7.0	7.0～	0～4.0	4.0～	—
状 態		養生なし	マット+散水	シート養生	養生なし	型枠設置	型枠取外	—
解 析 ケ ー ス	①	14.0 w/m ² ℃	5.0 w/m ² ℃	6.0 w/m ² ℃	14.0 w/m ² ℃	14.0 w/m ² ℃	14.0 w/m ² ℃	12.0 w/m ² ℃
	②	14.0 w/m ² ℃	12.0 w/m ² ℃	12.0 w/m ² ℃	14.0 w/m ² ℃	14.0 w/m ² ℃	14.0 w/m ² ℃	12.0 w/m ² ℃
	③	14.0 w/m ² ℃	12.0 w/m ² ℃	12.0 w/m ² ℃	14.0 w/m ² ℃	6.0 w/m ² ℃	14.0 w/m ² ℃	12.0 w/m ² ℃

コ示の参考値をそのまま用いた場合(①の解析ケース)は床版中段位置の温度履歴は概ね合うものの、上面・下面では実測値との差が大きい。また床版上面のみの熱伝達率を大きくした場合(②の解析ケース)についても、床版上面についてはほぼ実測値と一致するが、床版下面は実測値との差が大きい。床版はマスコンに比べて断面厚の薄い構造物であるため、表面の熱伝達率の影響が大きく支配する。そのため本実験での施工時の状況(上面は散水を実施してさらに風に晒されており、下面は地面に近い放熱しにくい)を考慮した③の解析ケースでは各点での温度履歴と良い一致をみた。ここで言う熱伝達率とはあくまでも見かけの熱伝達率であるので、上記のように養生方法によって様々に変化する。解析を行うにあたっては実際の養生方法に応じて表面の熱伝達率を適切に設定しなければならないことが確認できた。



図－9 床版上面の温度履歴



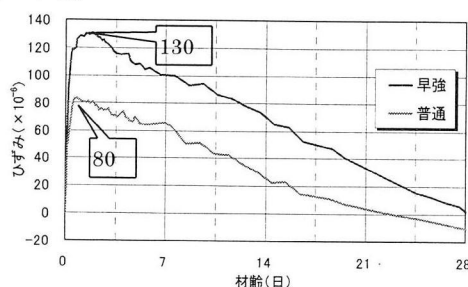
図一10 床版下面の温度履歴

なお、ブロック①の打継ぎ面における熱交換条件については、ブロック③および②の床版が打設するまでの期間は型枠の設置された床版側面と同様に熱伝達率を用いた熱伝達境界を考慮し、打設後については熱伝導率を用いた熱伝導式により解析は実施している。

5. 温度応力解析におけるひずみ特性の検討

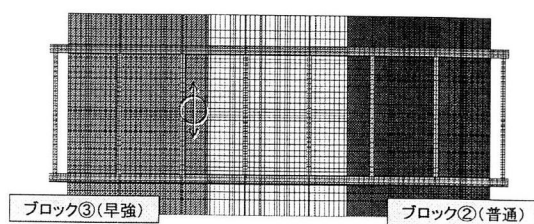
コンクリートの乾燥収縮や膨張材を添加したことによる膨張材の効果について、従来の温度応力解析ではコ示の算定式の乾燥収縮ひずみを解析に反映するのみで、膨張材の効果については考慮していないことが一般的であった。膨張材としては拘束膨張試験により $150\mu \sim 250\mu$ の膨張ひずみが確認されたものを使用するのが一般的だが、気中における膨張特性は差異があると考えて、本検討においては、図一11に示すように収縮・膨張ひずみは1m角の供試体の実験結果²⁾からデータを抽出した。それぞれ早強/普通コンクリートに分けて整理し、床版厚36cmと53cmの結果の平均値を入力値として用いた。解析結果と、自己収縮および乾燥収縮のみを考慮した解析結果を比較した。なお、解析の際のヤング係数は図一1に示したコンクリート材料試験の計測結果を入力値とした。着目位置はブロック③(早強)の最も拘束条件の厳しい床版打継ぎ目の橋軸直角方向応力とした。

(図一12)

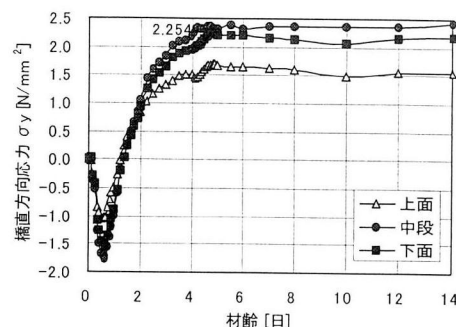


図一11 収縮・膨張ひずみ

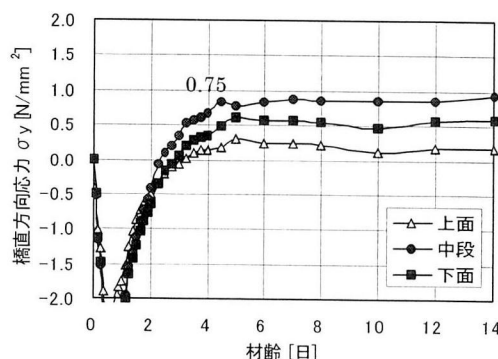
ここで1m角の実験とは膨張材の効果を定量的に把握するために、実物大供試体実験と同様の環境条件で1m×1mの床版供試体を用いてセメントの種類、膨張材の有無、鉄筋の有無、床版厚をパラメータとして膨張量の測定を行った実験結果を指す。



図一12 解析の着目位置



図一13 橋直方向応力の履歴(膨張材無し)



図一14 橋直方向応力の履歴(膨張材有り)

床版打継ぎ目における膨張材の有無による橋軸直角方向応力の履歴を図一13と図一14に示す。膨張材無しの打継ぎ部での応力は材齢1日～2日にかけて、水和熱の上昇から降下による影響から圧縮領域から引張領域に移行し、PC緊張する材齢4日には床版中段位置では $2.3\text{N}/\text{mm}^2$ の引張応力が発生することが確認できた。これに対して膨張材有りの場合は、膨張発現のピークが0.5日～1日になるため、応力が圧縮領域から引張領域に移行するのが材齢2日～3日と遅くなりPC緊張する材齢4日においても床版中段位置では $0.8\text{N}/\text{mm}^2$ の引張応力となり膨張材を添加により $1.5\text{N}/\text{mm}^2$ (約65%) もの引張応力の低減効果を示すことが判った。

6. 若材齢時におけるコンクリートの物性値

非線形温度応力解析において、床版打設から所定の強度が得られるまでの若材齢時におけるコンクリートのヤング係数は温度応力に大きな影響を与えられ、コ示式によるものと、実物大供試体実験と平行して実施した早強コンクリート材料試験の値による解析結果を比較する。(図一15) 図一16および17に若材齢時のヤング係数をコ示式により算出したものとコンクリート材料試験の結果温度応力解析にある床版中段位置での

応力履歴を示す。

コンクリート材料試験の結果からコンクリートヤング係数を決定したものの方が膨張材の効果を大きく受けており床版応力は圧縮領域に移行している。これは、コ示のヤング係数は材齢初期においてクリープによる低減のみを考慮していることが原因と考えられる。この影響は拘束条件の厳しい床版打ち継ぎ目部での橋直方向の応力について顕著である。

8. P C床版の施工時における床版応力

移動型枠による場所打ちP C床版の施工において発生する可能性の高いひび割れとして、以下の2タイプについて着目して解析結果を総括する。

- ・タイプ① 打継目に発生する橋軸方向ひび割れ
- ・タイプ② 主桁と横桁交差部から発生する橋軸直角方向ひび割れ (図-19)

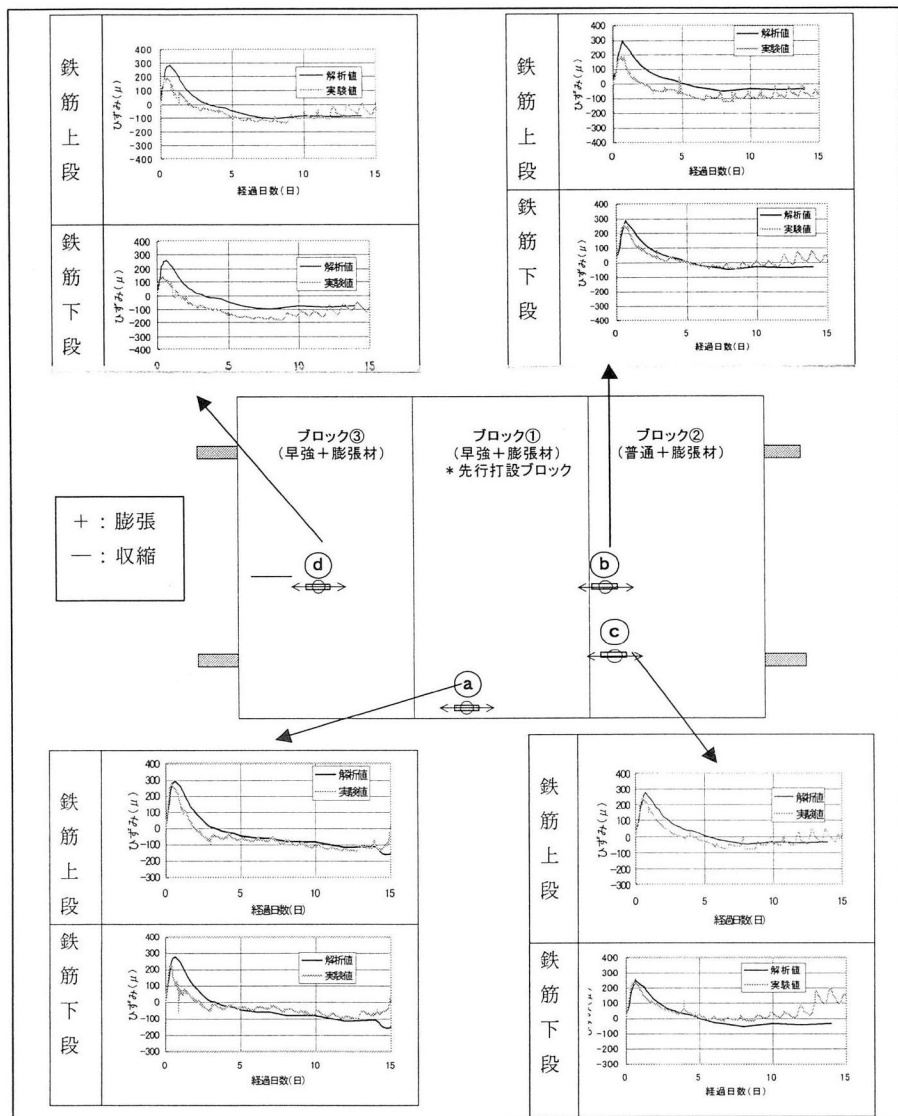


図-18 実ひずみ値と解析結果の比較

7. 事後解析 (再現解析) と実験値の比較

4~6の検討結果を踏まえて表-3の物性値による事後解析を実施した。参考のためにコ示を基本とした事前解析で入力した物性値も併記する。

実ひずみについて主要点の計測値と事後解析結果を図-18に示す。解析値と計測値は概ね一致していて、温度応力解析における諸物性値の評価が妥当であった事が確認できる。

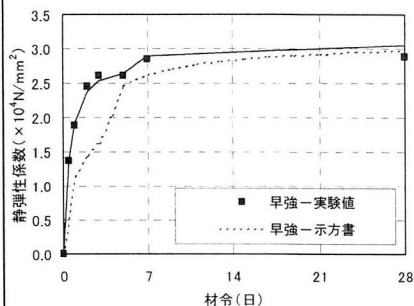


図-15 若材齢時のヤング係数

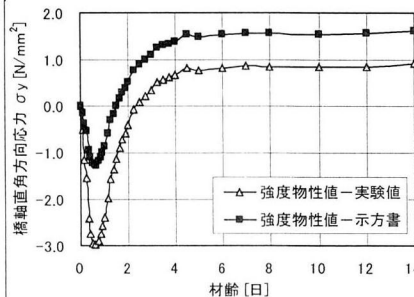


図-16 打継ぎ目の橋軸直角方向応力の履歴

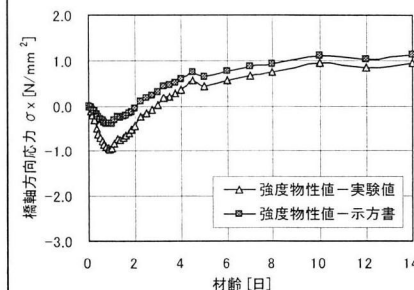


図-17 主桁近傍の橋軸方向応力の履歴

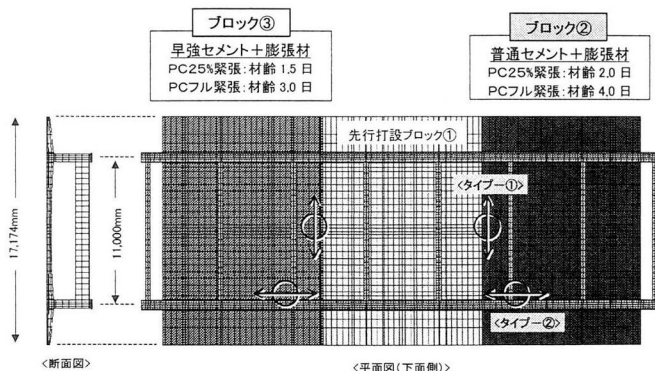
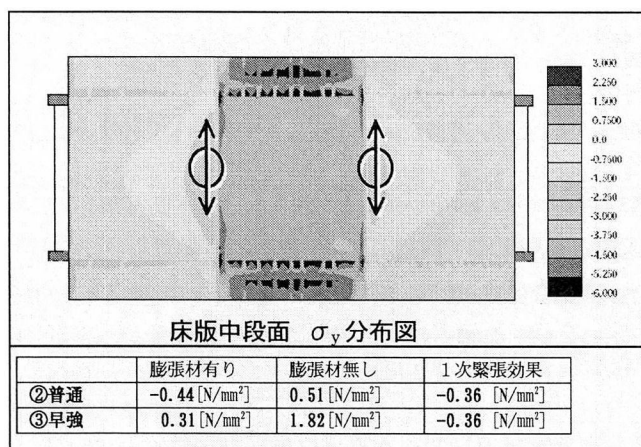


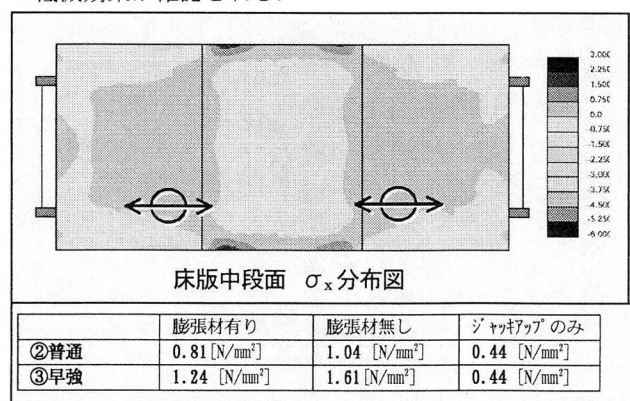
図-19 床版応力の方向とひび割れ

タイプ①のひび割れは橋軸直角方向の応力が卓越した時に発生するひび割れで、プレストレスを導入すれば圧縮応力が支配的となり発生する可能性はほぼないが、プレストレスを導入するまでに水和熱などにより床版に引張応力が卓越する場合に出現する。実物大供試体試験ではプレストレス導入直前が床版中段位置の応力が最大となっている（図－２０）。膨張材の効果は拘束の大きなこの位置で最も発揮されており、③ブロック（早強）については 1.5 N/mm^2 程度の低減効果が期待できる。暑中コンクリートの温度応力によるひび割れ対策として実施した１次緊張の効果は床版中段位置では 0.36 N/mm^2 の圧縮応力が確認される。



図－２０ 橋軸直角方向の応力分布（中段位置）

タイプ②のひび割れは主桁と横桁の交差部に橋軸方向応力が卓越する時に発生すると考えられ、実物大供試体試験ではジャッキアップ時に床版中段の引張応力が最大となっている（図－２０）。この位置における膨張材の効果は、③ブロック（早強）について 0.5 N/mm^2 程度の低減効果が確認される。



図－２１ 橋軸方向の応力分布（中段位置）

9. まとめ

本検討では、温度応力に着目する非線形温度応力解析と、荷重作用に着目する立体FEM解析の応力状態を重ね合わせる数値解析手法を用いた。さらに、非線形温度応力解析においては1m角の供試体での実測値をベースに

項 目		単 位	解析入力値			
			事 前	事 後		
温度解析で扱う熱物性値	断熱温度上昇量	コンクリート	コンクリート標準示方書より算出	断熱温度上昇試験結果より算出		
	熱伝導率	鋼桁	W/m ² ℃	51.3	25.0	
	比熱	鋼桁	kJ/kg℃	0.473	0.4	
	外気温		30℃一定	現地測定温度		
	熱伝達率	床版上面	養生なし	12.0	14.0	
			養生マット＋散水	9.0	12.0	
		床版側面および下面	シート被覆	10.0	12.0	
鋼製型枠			12.0	6.0		
応力解析で扱う力学的特性	線膨張係数	早強コンクリート	温度上昇時	10 ⁻⁶ /℃	10.0	4.65 (1m供試体試験結果より)
			温度下降時	10 ⁻⁶ /℃	10.0	8.70 (1m供試体試験結果より)
		普通コンクリート	温度上昇時	10 ⁻⁶ /℃	10.0	6.55 (1m供試体試験結果より)
			温度下降時	10 ⁻⁶ /℃	10.0	8.25 (1m供試体試験結果より)
	圧縮強度	コンクリート		N/mm ²	コンクリート標準示方書より算出	材料試験結果より
	引張強度	コンクリート		N/mm ²	コンクリート標準示方書より算出	材料試験結果より
	弾性係数	コンクリート		N/mm ²	コンクリート標準示方書より算出	材料試験結果より
	ひずみ特性	コンクリート			コンクリート標準示方書および拘束膨張試験結果より推定	1m 供試体試験結果より

表－３ 事前解析および事後解析の物性値

して膨張材の効果を検討する手法により、膨張ひずみを評価した。このような数値解析の結果を実験における計測値と対比した結果、水和反応に起因する床版コンクリートの温度履歴や温度応力、プレストレスの導入や脱型による床版自重の载荷、さらに隣接径間施工時の主桁作用による負の曲げモーメントの現実を見込んだジャッキアップ試験による床版コンクリートの引張応力に関しても、ほぼ妥当な評価が可能になったと考えられる。また非線形温度応力解析における熱物性値および若材齢時のヤング係数についても以下の知見が得られた。

（１）断熱温度上昇量

断熱温度上昇試験を行い“S字状のカーブ”を捉えた断熱温度上昇特性を解析に反映する事が望ましいが、解析が難しい場合はコ式により得られた最高温度を＋5℃程度増加させることが望ましい。

（２）熱伝達率

施工時期、施工環境、養生方法、型枠の種類などに応じた適切な値を設定する必要があるが、養生状態における床版上面の熱伝達率は床版コンクリートの体積／表面積比が小さい事を考慮して $12 \text{ W/m}^2\text{℃}$ とし、床版下面については熱が停留しやすい場合は $6 \text{ W/m}^2\text{℃}$ 程度として評価することが望ましい。

（３）膨張材の効果

本検討において温度応力解析実施時に1m供試体の実験結果から膨張材による効果は早強セメントで 130μ 、普通セメントで 80μ の膨張ひずみが発生するとして解析を実施したが、温度上昇時、下降時における見かけの線膨張係数についても実験結果より分けて入力している。その結果、実験供試体に発生する実ひずみと計算結果は概ね一

致した。この事から今回の実物大実験においては入力した膨張材の効果は適切であったと考えられるが、膨張材の特性は環境条件などにより変化するため、現状においては事前解析の結果を踏まえて、線膨張係数一定で 80μ 程度の膨張効果と考えて解析することが妥当と考えられる。また計算した応力についても、若材齢時のヤング係数の影響が大きいので、膨張材の効果としては $0.5\text{N/mm}^2 \sim 1.0\text{N/mm}^2$ 程度の圧縮力が導入されると考えるのが現状においては妥当と考える。

(4) 若材齢時のヤング係数

温度応力解析において、若材齢時におけるコンクリートのヤング係数は床版応力に大きな影響を与え、膨張材の効果を検討した場合は若材齢時におけるヤング係数を低く評価したほうが、床版の引張応力は小さくなった。このことから膨張材の効果を検討して温度応力解析を実施する場合はコ式においてクリープの低減を検討した解析を実施するか、あるいは膨張材を検討しない場合はクリープの低減を検討しないヤング係数を解析に反映する方が安全側の評価につながる。

謝辞：本研究は「場所打ちPC床版技術検討特別委員会」（日本橋梁建設協会）、「場所打床版施工対策委員会」（プレストレスト・コンクリート建設業協会）が協力して実施した実物大試験体による施工実験検証等の諸検討の一部として行ったものであることを付記し、関係者には深く感謝の意を表します。

また本件に関しましては、大阪大学の松井教授をはじめ、「第二東名高速道路 長支間場所打ちPC床版の設計施工に関する技術検討委員会」（（財）高速道路技術センター：日本道路公団静岡建設局委託）他、多数の関係の方々のご指導・ご協力のもとに実施できましたことを、ここに附記させていただきます。

参考文献

- 1) 玉置一清，寺田典生，本間淳史：場所打ちPC床版温度応力解析に関する一考察，土木学会年次講演会CS4-020，2002.9
- 2) 橘吉宏，高瀬和夫，白水晃生：1m供試体を用いた膨張材の効果に関する実験的検証，土木学会年次講演会，CS4-013，2002.9
- 3) 八部順一，小林潔，竹中裕文：移動型枠を用いた場所打ちPC床版の施工検証実験，土木学会年次講演会，CS4-010，2002.9
- 4) 倉田幸宏，江頭慶三，和内博樹：膨張材の効果を検討した場所打ちPC床版の施工時FEM解析，土木学会年次講演会，CS4-012，2002.9
- 5) 寺田典生，福永靖雄，本間淳史，會澤信一，高瀬和男，福田長一郎：長支間場所打ちPC床版における温度応力に関する考察，橋梁と基礎，pp.36-45，2002.9
- 6) 高瀬和男，寺田典生，福永靖雄，石川敏之：場所打ちPC床版の材齢初期における膨張材効果の評価方法に関する一考察，コンクリート工学年次論文集，Vol.24，No.1，pp.549-554，2002.6

(2002年9月13日受付)