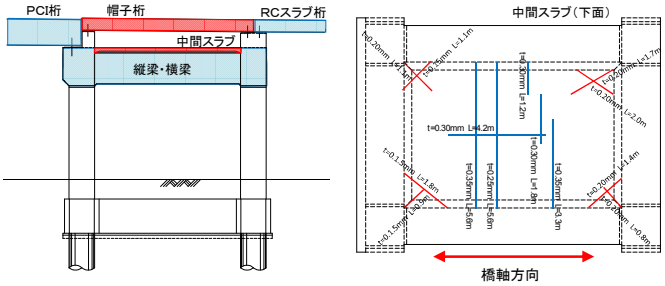
鉄道ラーメン橋台におけるスラブのひび割れ抑制を考慮した施工について

西日本旅客鉄道㈱　正会員　　○宮下　純平
鉄建建設㈱　　高須賀　伸生

1．はじめに

おおさか東線建設は、城東貨物線を複線・電化することで、新大阪から久宝寺に至る 20.3km を旅客線として整備する事業である。西吹田駅（仮称）付近の構造形式は高架橋であり、道路交差部は桁式橋りょうで計画されている。その橋台には、桁高の高い桁を支持するため、鉄道橋特有である 4 方を梁に囲まれた中間スラブを有する帽子桁ラーメン橋台を採用して施工を進めている。入念な施工を実施したが、施工の結果中間スラブに最大 0.30mm のひび割れが発生した（**図－1**）。



図－1　鉄道ラーメン橋台と中間スラブひび割れ状況

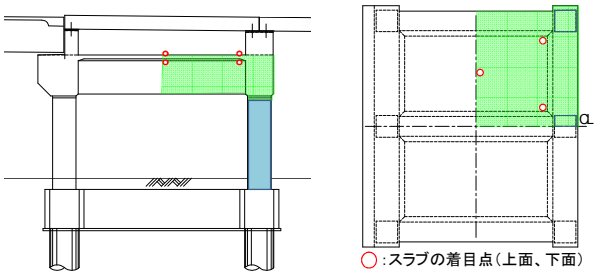
中間スラブのコンクリートは、縦梁（梁高 1900mm）・横梁（同 2000mm）と同時に打設している。一般に梁と一体となったスラブでは梁に囲まれた 4 辺を拘束されることによるひび割れの懸念がある一方で、本橋台のスラブ厚は 200mm とマスコンクリートでないため、設計段階で施工時の温度ひび割れに対しては特別な検討を行っていない。

しかし、今後も同種構造の施工があることや、この構造が今回の事業に限らず高架橋では一般的な構造であることも踏まえ、同種構造のラーメン橋台を対象に柱や中層梁に拘束される中間スラブの温度応力解析を実施し、スラブ上面、下面でのひび割れ発生確率およびひび割れ幅の推定を行うことで、現在発生しているひび割れ発生原因の推定とひび割れ抑制のための対策を検討した。

2．温度応力解析の方法と解析条件

解析および照査については、『マスコンクリートのひび割れ制御指針 2008【コンクリート工学協会】』に準拠して 3 次元有限要素法により行った。また、温度応力解析のプログラムは『ASTEA MACS（ver.7）【RCCM】』を使用した。

解析モデルは、ラーメン橋台の柱および中層梁・スラブに着目し、中間縦梁の中心線と径間中央を対称軸とする 1/4 モデルとした。また、スラブの着目点は、スラブ上面、下面各々の隅角（外側・内側＝CL 側）、中央部の計 6 点とした（**図－2**）。打設条件は実際に施工する配合、時期に合わせて**表－1**のとおりとし、他の解析条件である拘束条件、境界条件についても実施工に合わせて決定した。



図－2　中間スラブ 1/4 解析モデルとスラブ着目点

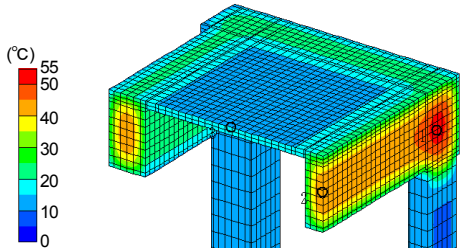
表－1　コンクリート打設条件

打設箇所	打設日	打設温度	相対湿度
中層梁・スラブ	2014/1/20	11℃（気象庁データより）	60%（RH）

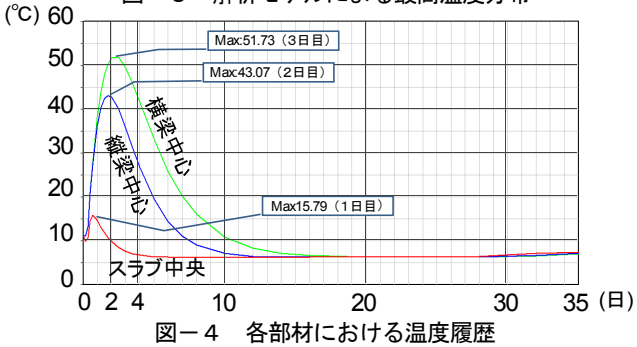
セメント種類	設計基準強度 (N/mm²)	単位セメント量 (kg/m³)	単位水量 (kg/m³)	水セメント比 (%)
N	30	357	175	49.0

3．解析結果

解析モデルにおいて最高温度分布と温度履歴を算出した。結果を**図－3,4**に示す。



図－3　解析モデルによる最高温度分布

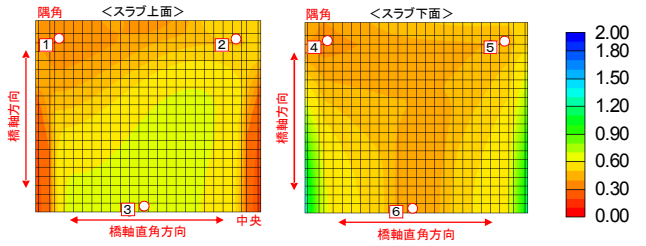


図－4　各部材における温度履歴

キーワード：ラーメン橋台、スラブ、温度ひび割れ、温度応力解析
連絡先：〒532-0011　大阪市淀川区西中島 5-4-20　JR 西日本　大阪工事事務所　おおさか東線北工事所　TEL：06-6304-1078

最高温度分布より、打設 3 日後に横梁中心で最高温度が 50℃超、断面の小さい中間スラブとは 0℃となっており、40℃近い温度差が生じている。温度履歴においても最高温度の到達時期に 2 日程度の差が生じている。

これらのデータを元に、最小ひび割れ指数分布図の作成と、各スラブ着目点における、ひび割れ発生確率とひび割れ幅の推定を行った。



図－５　最小ひび割れ指数分布図

表－２　ひび割れ発生確率と推定ひび割れ幅

着目点	部位		ひび割れ指数	発生確率	配置鉄筋	ひび割れ幅
			Icr	P(Icr)(%)	鉄筋比(%)	wc(mm)
1	上面	隅角(外)	0.34	100	0.81	0.15
2	上面	隅角(内)	0.48	100	0.81	0.14
3	上面	中央	0.66	98.4	0.81	0.12
4	下面	隅角(外)	0.36	100	0.63	0.19
5	下面	隅角(内)	0.45	100	0.63	0.18
6	下面	中央	0.39	100	0.63	0.19

最小ひび割れ指数は上面・下面の隅各部、下面の中央部で特に低い数値を示しており、隅角部の外側と内側の比較では、外側の方が低い(**図－５**)。また、すべての着目点においてほぼ 100%の確率でひび割れが発生することが分かった(**表－２**)。(ひび割れ指数 0.34～0.66)

４．ひび割れ発生原因の推定

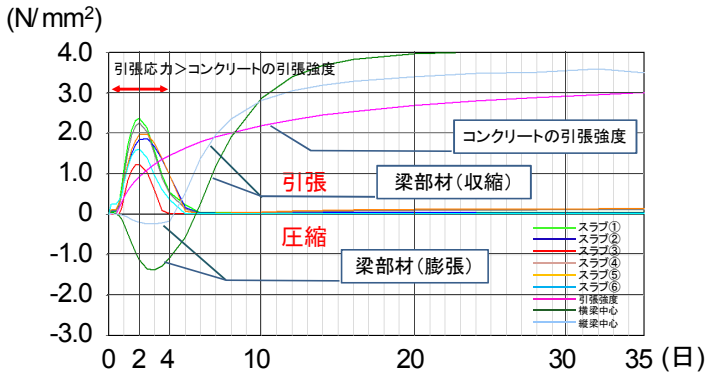
今回の解析結果を踏まえ、施工した中間スラブのひび割れの原因を推定する。

(1)スラブ橋軸直角方向のひび割れ(**図－１青線**)

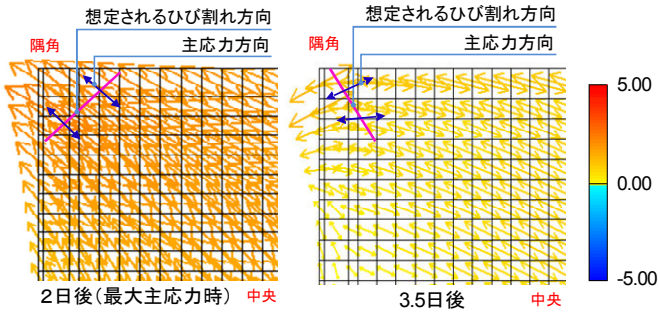
スラブ中央部付近に橋軸直角方向のひび割れが発生しているもので、最大ひび割れ幅は 0.35mm である。これは、コンクリート硬化時にスラブと縦梁の温度差が大きいこと(**図－４**)と縦梁の拘束を受けることからスラブに引張応力が発生し(**図－６**)、コンクリートの引張強度を超えたためと推定される。

(2)スラブ隅角部の斜め方向のひび割れ(**図－１赤線**)

スラブ隅角部に放射線方向とそれに直交する方向の 2 方向のひび割れが発生しているもので、最大ひび割れ幅は 0.20mm である。解析結果によると、隅角部(外側)の最大主応力方向は放射線方向であり、それに直交する方向のひび割れが卓越するものと推定されるが、実際には 1 箇所の隅角部にクロス状に 2 方向のひび割れが発生している。そこで、隅角部の主応力方向の経時変化について打設の 2 日後から 3.5 日後にかけて比較すると(**図－７**)、



図－６　主応力経時変化と中間スラブ引張強度



図－７　隅角部主応力方向の比較

主応力方向が放射線方向からそれに直交する方向へ変化していることがわかる。これは梁とスラブの部材厚の差によりそれぞれが異なる温度履歴を示す(**図－４**)ことで、梁の膨張・収縮作用がスラブの応力度に影響しているためであると考えられる。

５．ひび割れ抑制の対策

3. による解析結果より、4 方を梁に囲まれた中間スラブを有する帽子桁構造のラーメン橋台の場合、温度ひび割れが高い確率で発生するという結果となった。同種構造のひび割れ抑制対策を検討した結果、漏水抵抗性を確保するための許容ひび割れ幅が 0.15mm 以下であることを踏まえ、耐久性、使用性に支障が少ないと判断できるように鉄筋比を増加させることとした。具体的には、ひび割れ幅が漏水抵抗性を満足してない中間スラブ下面(**表－２**)において、橋軸直角方向の鉄筋の配筋間隔を D13ctc200 から D13ctc150 へ変更することで、推定ひび割れ幅を 0.15mm 以下に制御した。

６．まとめ

対策後の構造物では、現段階で中間スラブにおいて耐久性を悪化させるようなひび割れの発生はない。今回の事例から、鉄道ラーメン橋台のスラブと縦梁・横梁の断面が大きく異なる場合において、温度応力解析により梁の拘束による中間スラブの温度ひび割れのメカニズムを把握することで、同種の構造物に対して有効な対策を講じることができた。