

長大エクストラードロード橋の中空式橋脚における脚頭部の充実部に対する検討

大成建設(株)	正会員	工修	○金田	貴洋
大成建設(株)	正会員	博(工)	細谷	学
西日本高速道路(株)			福田	雅人
大成建設(株)・(株)ヒール三菱JV	正会員	工修	大熊	光

1. はじめに

新名神高速道路生野大橋は、橋長606 m（最大支間長188m）のPRC7径間連続波形鋼板ウェブエクストラードロード橋である。本橋は上下線一体断面で、完成形6車線時には総幅員35.4mと広幅員となる（図-1）。中空式橋脚であるP5およびP6橋脚は、施工上の制約により、当初計画の剛構造から連続桁構造に変更された。脚頭部は、基本設計では平成14道示V耐震設計編が適用されており中空断面であったが、詳細設計では支承を設置する橋座が必要になることから、脚頭部を充実断面に変更することとなった。また、張出し架設用の仮固定鋼材を配置する必要があることから、充実部は、橋軸方向8.5m×直角方向11.6m×高さ6.0mのマッシュな形状となった（図-2）。さらに、橋軸直角方向に拡幅部を有していること、1橋脚2支承線の支承構造（以降、二線支承）を採用しており上部工反力の作用位置が橋脚中心に対して橋軸方向に前後2か所にあること、二線支承の間に支承点検孔（橋軸方向1.0m×直角方向7.2m）が設けられること、などから、設計においては、充実部に生じる応力状態を3次元FEM解析を用いて正確に把握する必要があると思われた。また、マスコンクリートとなるため温度ひび割れが懸念されることから、温度応力解析を実施してマスコンクリート対策も検討する必要があると判断された。本稿は、充実部の3次元FEM解析による補強鉄筋の算出および温度ひび割れ対策の検討について述べる。

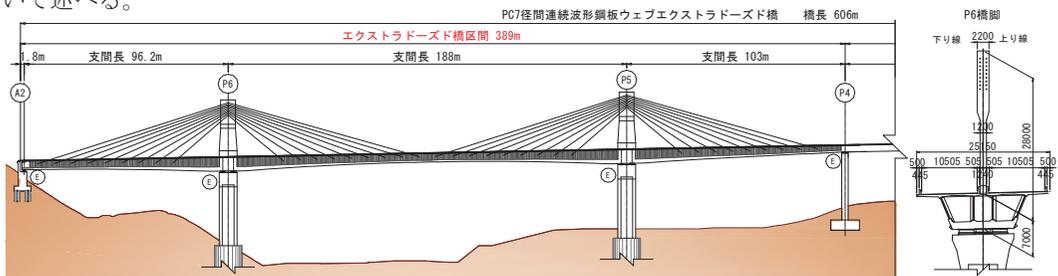


図-1 生野大橋の全体一般図（ED橋区間のみ）

2. 脚頭部の設計

2.1 検討概要

脚頭部の設計における検討事項には、3次元FEM解析によって求められる発生引張応力に対する補強鉄筋の検討のほか、橋座部が支承からの鉛直力や水平力に対して安全であることを照査する必要があるが、ここでは前者についてのみ記述する。

解析モデルは、充実部下面までをモデル化し、対称性を考慮した1/4モデル（図-3）とし、鉛直方向は、中空断面の壁面部分で支持している。また荷重は、脚頭部の自重および支承反力を考慮した。支承反力は、死荷重時、活荷重時、

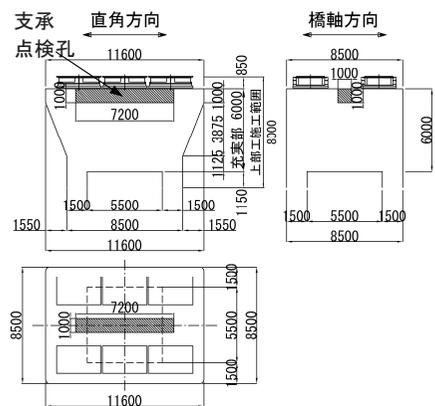


図-2 脚頭部の形状

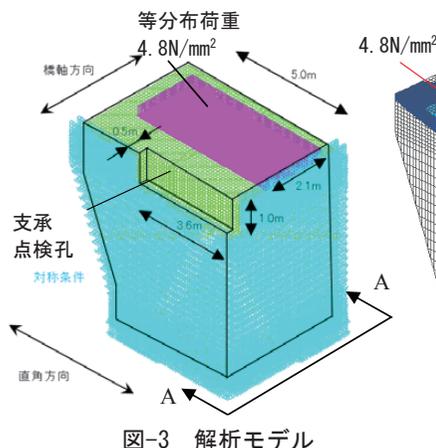
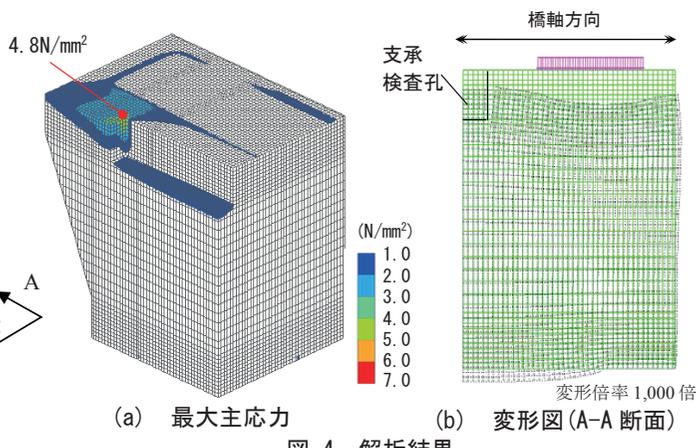


図-3 解析モデル



(a) 最大主応力

(b) 変形図(A-A断面)

図-4 解析結果

レベル1地震時およびレベル2地震時でそれぞれ異なるが、各荷重状態での補強鉄筋量を求める際に用いる鉄筋の許容応力度も異なるため、許容応力度の比率で換算した支承反力が、もっとも厳しくなる状態に対して検討することとした。結果として死荷重時がもっとも厳しい状態となるため、死荷重時反力の約100,000 kN (1支承線あたり) を支承部に等分布荷重で載荷した。

2.2 解析結果および補強鉄筋の算出

図-4(a)は、1N/mm²以上の最大主応力を示したコンター図である。1N/mm²以上の最大主応力が発生している箇所は、①二線支承間の橋脚天端、②支承点検孔の底面、③支承点検孔の隅角部である。①の橋脚天端では橋軸方向直応力が卓越しているが、これは、支承部が図-4(b)のように鉛直下方向に変形することによって、支承間がこの変形に追従して引っ張られるためと考えられる。②および③についても、同様に橋軸方向の直応力が卓越しており、基本的には①の場合と同じ理由によるものと考えられる。脚頭部の拡幅部に支承反力が作用することによる橋軸直角方向の引張応力や脚頭部底面の橋軸あるいは橋軸直角方向への引張応力の発生が懸念されたが、今回の解析結果では、1N/mm²を超えるような引張応力は発生しないことが確認された。

最大主応力が1.0 N/mm²以上発生している箇所については、補強鉄筋量を式(1)を用いて算定した。

$$A_{sr} = T / \sigma_{sa} \quad (1)$$

ここで、 A_{sr} ：補強鉄筋量(mm²)、 σ_{sa} ：死荷重時の鉄筋の許容応力度(=100 N/mm²)、 T ：補強対象箇所が発生する引張応力度から算出する引張力の合計(N)である。

その結果、上記の①および③については、橋軸方向に最大でD29@150、②についてはD22@150を配置することとした。

3. 脚頭部の温度ひび割れ対策の検討

3.1 検討概要

脚頭部は、当初計画では普通ポルトランドセメント (以下、普通セメント) を用いる予定であった。しかし、新たに設けた充実部がマスコンクリートとなること、外気温が高くなる6~7月頃の打設となることから、温度ひび割れの発生が懸念されたため、温度ひび割れ対策として低熱ポルトランドセメント (以下、低熱セメント) の採用についても検討を行った。

温度解析および温度応力解析には、対称性を考慮した1/4

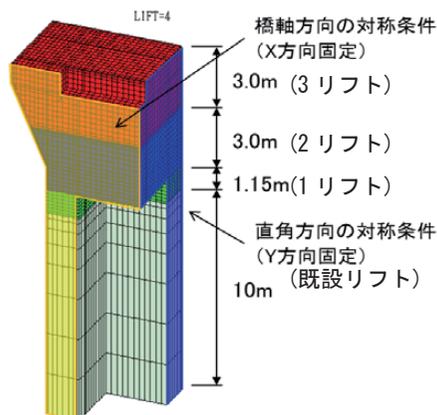


図-5 温度応力解析モデル

モデルを用いた(図-5)。各リフトの打設量および打設時期を表-1に示す。充実部のリフト割は、2リフトおよび3リフトのコンクリート打設量が同程度となるように決定している。普通セメントおよび低熱セメントを用いた場合の配合は表-2のとおりである。解析に用いる外気温は気象庁データをもとに架橋地点における過去3年間の旬ごとの平均気温を用い、打込み温度は外気温+5℃とした¹⁾。熱伝達境界は、施工段階ごとに、実施工で使用する型枠および養生方法に応じてそれぞれ設定した。

3.2 解析結果および補強鉄筋の算出

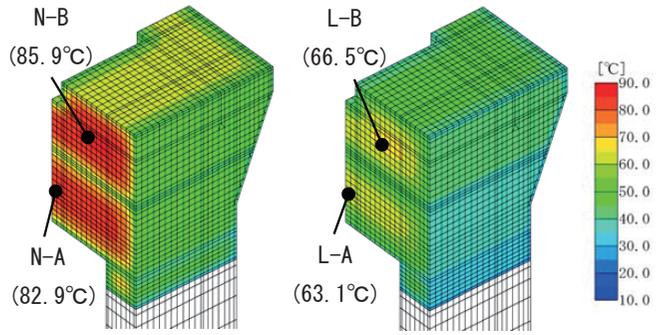
経験最大温度分布、経験最小ひび割れ指数分布、経験最大主応力について、それぞれ普通セメントと低熱セメントを比較したものが図-6～図-8である。なお、本検討では温度ひび割れ対策として、ひび割れ指数が1.0未満となる箇所に対して補強鉄筋を配置することを方針としたため、ひび割れ指数図では、ひび割れ指数が1.0以上となる部分は無着色になっている。コンクリートの最高温度は、普通セメントの場合には2リフト(N-A)で82.9℃、3リフト(N-B)で85.9℃であるのに対して、低熱セメントの場合には2リフト(L-A)で63.1℃、3リフト(L-B)で66.5℃とそれぞれ19.8℃、19.4℃低下している。ひび割れ指数については、普通セメントの場合にもっとも小さい数値となるのは検査孔の隅角部(N-C)および1リフト下面(N-D)で、いずれも0.4となっている。低熱セメントの場合、同じ位置で比較すると指数はほとんど変わらないが、ひび割れ指数が1.0未満となる範囲は大きく減少している。また、最大主応力については、ひび割れ指数がもっとも小さくなる箇所は、橋脚天端や充実部側面に全体的に分布している引張応力のは、普通セメントの場合に比べると低熱セメントの場合は3N/mm²程度小さくなっている。温度応力解析の結果より、低熱セメントの使用は、温度ひび割れ

表-1 P6 脚頭部の打設量と打設時期

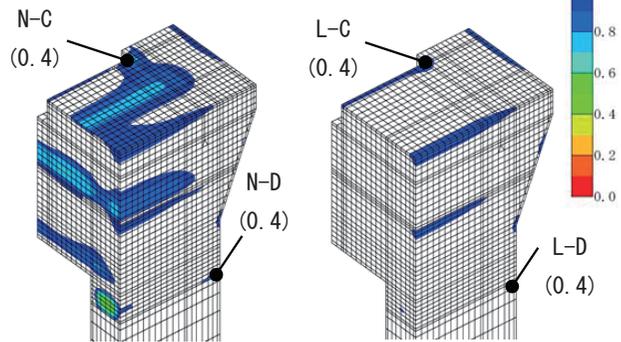
	打設量(m ³)	打設時期
1リフト	48.2	2015年6月1日
2リフト	232.4	2015年6月22日
3リフト	274.8	2015年7月20日

表-2 コンクリートの配合

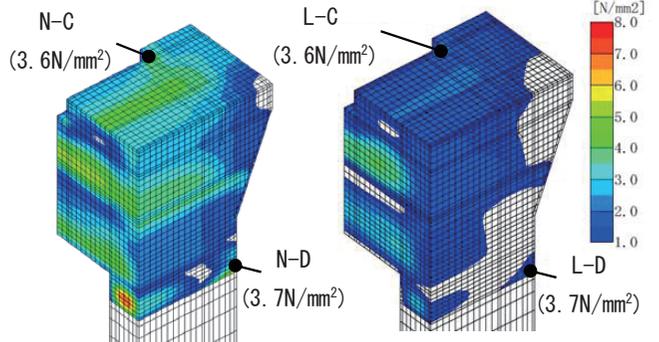
項目	普通(N)	低熱(L)
保証材齢 (日)	28	28
コンクリート強度 (N/mm ²)	40	40
配合	単位セメント量 (kg/m ³)	348
	単位水量 (kg/m ³)	164
	水セメント比 (%)	47.1



(a) 普通ポルトランドセメント (b) 低熱ポルトランドセメント
図-6 経験最大温度



(a) 普通ポルトランドセメント (b) 低熱ポルトランドセメント
図-7 経験最小ひび割れ指数



(a) 普通ポルトランドセメント (b) 低熱ポルトランドセメント
図-8 経験最大主応力

対策に対して、明らかに効果があることが確認できた。

次に両者について補強鉄筋量を算出して比較を行った。温度応力に対する補強鉄筋は、ひび割れ幅が許容ひび割れ幅(=0.005c[c:かぶり])以下となるように算出する。ここで、ひび割れ幅の算出には「2012年度制定 コンクリート標準示方書 設計編」に示される曲げひび割れ幅の設計応答値を求めめる式(2)を準用した。

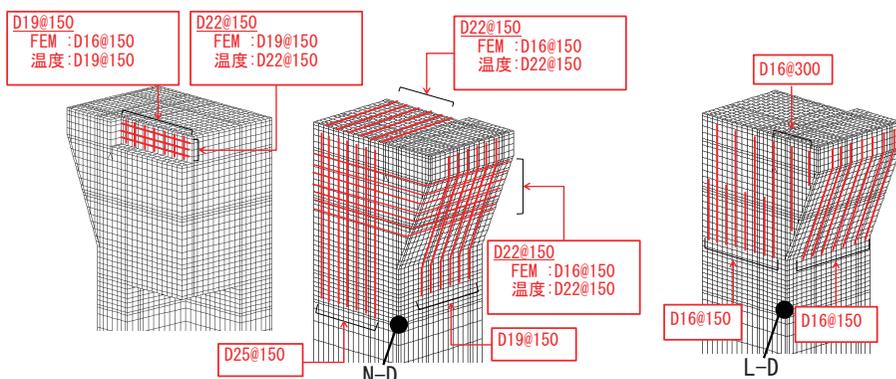
$$w = 1.1k_1k_2k_3\{4c + 0.7(c_s - \phi)\} \left[\frac{\sigma_{se}}{E_s} \left(\text{または} \frac{\sigma_{pe}}{E_p} \right) + \varepsilon'_{csd} \right] \quad (2)$$

温度解析によって発生する引張応力には、①主に内部拘束に起因すると思われる、一時的に大きな引張応力が生じるが時間の経過とともに小さくなっていく場合と、②主に外部拘束に起因すると思われる、時間が経過しても比較的大きな引張応力が残留する場合とがある。最終的に、①の場合には、前述したFEM解析から求まる鉄筋量と温度応力解析から求まる鉄筋量を比較して大きい方を配置することとし、②の場合には、FEM解析から求まる鉄筋量と温度応力解析から求まる鉄筋量を足し合わせて配置することとした。

温度応力解析によって必要となる補強鉄筋を、普通セメントの場合と低熱セメントの場合のそれぞれについて示したものが図-9である。普通セメントの場合、1リフト下面の隅角部(N-D)には残留する引張応力が発生し、これに対しては鉛直方向にD22@150が必要となる。これは低熱セメントの場合の(L-D)においても同じである。この部分には橋脚下端で決定されたD51@150がそのまま立ち上がってきており、前述の方針によればこれらを足し合わせる必要がある。この橋脚下端で決まっているD51@150は、脚頭部において十分に余裕があることを確認したため、実際にはこのD22@150は配置しないこととした。これ以外の箇所に発生する引張応力は残留しないため、FEM解析から求まる鉄筋量と温度応力解析から求まる鉄筋量の大きい方を配置した。図-9には、温度解析によりランクアップする箇所の鉄筋についてのみ示している。普通セメントの場合には、充実部の外周方向はD22@150、充実部の鉛直方向はD25@150(長辺部)とD19@150(短辺部)、橋座はD22@150(橋軸方向)、点検孔はD19@150(鉛直方向)とD22@150(直角方向)を配置する必要があるが、低熱セメントの場合には充実部の鉛直方向にD16@150およびD16@300のみとなり、低熱セメントを使用することで、温度ひび割れ対策として必要な鉄筋量を大幅に減少できることが確認できた。結果として、コンクリートの品質、経済性、施工性を考慮した上で低熱ポルトランドセメントを採用することとした。

4. おわりに

中空式橋脚の充実部に対してFEM解析および温度応力解析を用いた設計について報告した。本報告が同様の構造を有する脚頭部の設計において参考になれば幸いである。



(a) 普通ポルトランドセメント (b) 低熱ポルトランドセメント
図-9 温度解析によりランクアップする鉄筋

参考文献

1) (社)日本コンクリート工学協会：マスコンクリートのひび割れ制御指針2008