

点検作業性に配慮した鋼桁ダイアフラム開口形状の検討

阪神高速道路株式会社 正会員 ○田畑 晶子, 正会員 篠原 聖二, 正会員 茂呂 拓実, 正会員 金治 英貞
株式会社横河ブリッジ 金澤 宏明, 正会員 石井 博典
長岡技術科学大学 正会員 長井 正嗣

1. はじめに

鋼箱桁橋の桁内ダイアフラムには、維持管理用のマンホール(高さ 600×幅 400 mm)が設けられている。マンホールはダイアフラムの剛性低下による箱桁の断面変形を抑えるためにダイアフラムの中心位置に設けられる場合が多い。しかし、点検通行時には下フランジから高さがあり、かつ通過するには寸法が狭く作業員の負担が大きい。そこで本検討では、ダイアフラムの断面保持性能を有したまま、どの程度まで開口下端を下フランジ側に近づけ、また開口を大きくできるか 3 次元 FEM 解析によって検討したので報告する。

2. ダイアフラムの設計法

箱桁のダイアフラムは、一般に①曲げに対する断面形状保持、②ねじりに対する断面形状保持、③座屈変形の防止、④荷重分散作用、⑤製作運搬架設用のために設けられる。阪神高速道路(株)の曲線桁設計の手引き(案)¹⁾によると、中間ダイアフラムの設計は、文献 2)の BEF アナロジーを基本とした設計法を採用している。これにより、ダイアフラムの間隔 $L_d(m)$ は、限界間隔 $L_{d(m)}$ よりも小さくしなければならず、曲線桁の場合は、直線桁よりダイアフラム間隔を小さくとる必要がある。また、鋼道路橋設計便覧³⁾では、ダイアフラムの性状を開口率 ρ で定義した場合、 $\rho \leq 0.4$ のときは充腹板として考えてよく、開口を考慮する必要がないとしている。そのため、今回開口を大きくするにあたり、開口率が断面変化に与える影響を検討する必要がある。

3. ダイアフラムの開口形状の検討

対象橋梁の平面図を図-1 に示す。モデル化範囲は、ねじり及び負曲げが卓越する支点付近を対象とし、PA3 支点付近の C8-C10 の範囲とする。モデル化範囲の断面構成を表-1 に示す。解析モデルは曲線を考慮し 3 次元シェルモデルで構築する。汎用有限要素解析プログラム Femap with NX Nastran⁴⁾を用いて、弾性静的解析を実施する。使用要素は、主桁・垂直補剛材、水平補剛材、ダイアフラム、横リブをシェル要素にてモデル化を行う。また、要素サイズは、着目点近傍を 10mm 程度、その他部位を 20mm 程度とする。

負曲げモーメントの荷重方法を図-2 に、またねじりモーメントの荷重方法を図-3 に示す。解析ケース、パラメータを表-2 に、解析モデルを代表して図-4 に示す。ケース名で「標準」は従来のマンホール開口を箱桁高さ中心に配置、「提案 2-2」はマンホール下端を下フランジに付け、「提案 2-3」ではマンホール高さを 1000 mm から 1500 mm に大きくした。一方、「提案 3~4-2」はマンホール下端を下フランジから 300 mm 離し、「提案 3」はマンホール開口高さ 1000 mm、「提案 4」は 1500 mm、「提案 4-2」はマンホール上下にスカーラップを設けない構造とした。

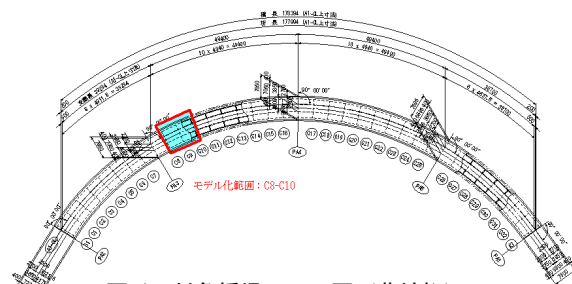


図-1 対象橋梁の平面図（曲線桁）

表-1 モデル化範囲の断面構成

部材名	項目	単位	値
上フランジ	厚	mm	16
	幅	mm	2520
上フランジ縦リブ	本数	本	5
	幅	mm	200
	厚	mm	22
左腹板	高さ	mm	2264.5
	厚	mm	13
右腹板	高さ	mm	2103.5
	厚	mm	13
下フランジ縦リブ	本数	本	5
	幅	mm	200
	厚	mm	22
下フランジ	厚	mm	15
	幅	mm	2540

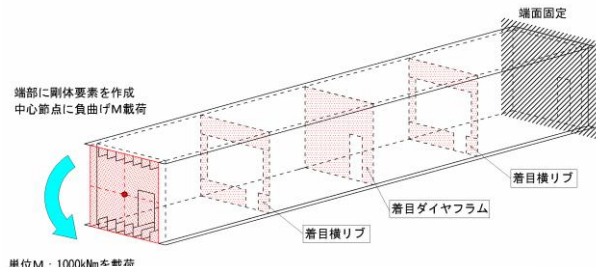


図-2 負曲げモーメントの荷重方法

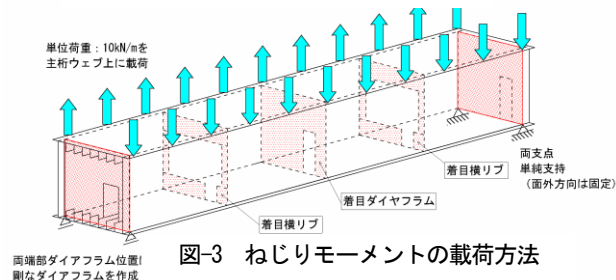


図-3 ねじりモーメントの荷重方法

表-2 解析パラメータ

ケース名	パラメータ				備考
	ダイアフラム		横リブ	開口率 ρ	
	開口下端高さ (mm)	開口寸法 (mm)	横リブ高さ (mm)		
標準	600	1000×400	400	0.36	標準構造
提案2-2	0	1000×400	400※	0.36	開口下端を下フランジに付ける
提案2-3	0	1500×400	400	0.41	
提案3	300	1000×400	300	0.36	開口下端を下フランジから300mmの位置にする
提案4	300	1500×400	300	0.41	
提案4-2	300	1500×400	300	0.41	

※ダイアフラム同様、横リブに開口を設ける

キーワード ダイアフラム, 点検作業性, 鋼箱桁橋, FEM 解析

連絡先 〒550-0011 大阪市西区阿波座 1-3-5 阪神高速道路株式会社建設事業本部建設技術課 tel:06-6535-9427

4. 解析結果

a)断面保持性能及び局部応力

図-4 には、ねじりモーメント載荷時のダイアフラムと横リブの変形図を代表して示す。マンホール開口下端を下フランジとしたケースやマンホール開口下端を下フランジから 300mm 離れたケースでは、標準構造と全体の断面変形量の差はないが、局部的な変形が生じるケースがあった。一方、上下のスカラップを無くした提案 4-2 では局部的な変形が抑制された。また、図-4 には、ねじりモーメント載荷時のダイアフラムの vonMises 応力を代表して示す。提案 4 では、縦リブスカラップ部に大きな応力集中が発生している。一方、上下のスカラップの無くした“提案 4-2”では、標準構造と同様の応力集中となった。

b)断面変形に伴う付加応力

負曲げモーメントおよびねじりモーメントにより発生する直応力 σ は、式(1)に示すように曲げ応力 σ_b 、そりねじり応力 σ_w 、ずりによるそり応力 σ_{DW} 、板曲げ応力 σ_{DB} の和で評価できる。

$$\sigma = \sigma_b + \sigma_w + \sigma_{DW} + \sigma_{DB} \quad (1)$$

ここで、曲げ応力 σ_b とそりねじり応力 σ_w は断面変形を伴わないそり応力であり、ずりによるそり応力 σ_{DW} と板曲げ応力 σ_{DB} は断面変形に伴う付加応力である。ダイアフラムの剛度の差異は、断面変形によるずりによるそり応力 σ_{DW} と板曲げ応力 σ_{DB} に影響を及ぼすことから、式(2)に示すように直応力から曲げ応力 σ_b とそりねじり応力 σ_w を減ずることで、ずりによるそり応力 σ_{DW} と板曲げ応力 σ_{DB} を求めて評価する。

$$\sigma_{DW} + \sigma_{DB} = \sigma - (\sigma_b + \sigma_w) \quad (2)$$

ここで、 $\sigma_b + \sigma_w$ はダイアフラムを多数入れることで断面変形を拘束した解析モデルを対象にねじりモーメントを載荷することで求めた。図-5 には、ねじりモーメント載荷時のダイアフラム近傍の下フランジの橋軸方向の断面変形に伴う付加応力 $\sigma_{DW} + \sigma_{DB}$ を示す。提案 4-2 は標準構造と同程度の応力レベルである。その他の提案モデルはマンホール付近で相対的に応力が大きくなっている。図-6 には、ねじりモーメント載荷時のダイアフラム近傍の下フランジの橋軸方向の断面変形に伴う付加応力 $\sigma_{DW} + \sigma_{DB}$ から板曲げ応力 σ_{DB} を減じたずりによるそり応力 σ_{DW} を示す。総じて各モデルとも設計荷重時のずりによるそり応力 σ_{DW} は小さい。また、ずりによるそり応力では、いずれのモデルもマンホール付近で応力が大きくなる現象はみられなかった。よって、マンホール付近での大きな応力は、板曲げ応力によるものといえる。ダイアフラム形状がそり応力に与える影響については、今後さらに検証する予定である。

5. まとめ

鋼桁内ダイアフラムに設けるマンホール開口下端を下フランジから 300 mm 離し、マンホール上下のスカラップを無くした構造であれば、ダイアフラムとしての断面保持性能を有したまま、点検作業性を向上させることができると考えられる。

参考文献 1) 阪神高速道路公団: 曲線桁設計の手引き(案), 1988.10 2) 小松定夫, 長井正嗣: 中間ダイアフラムの新しい設計法に関する研究, 土木学会論文報告集, No.326, pp.51-62, 1982.10 3) 日本道路協会: 鋼道路橋設計便覧, 丸善, 1980.8 4) (株)NST: Femap with NX Nastran, http://www.cae-nst.co.jp/products/femap_nastran/index.html.

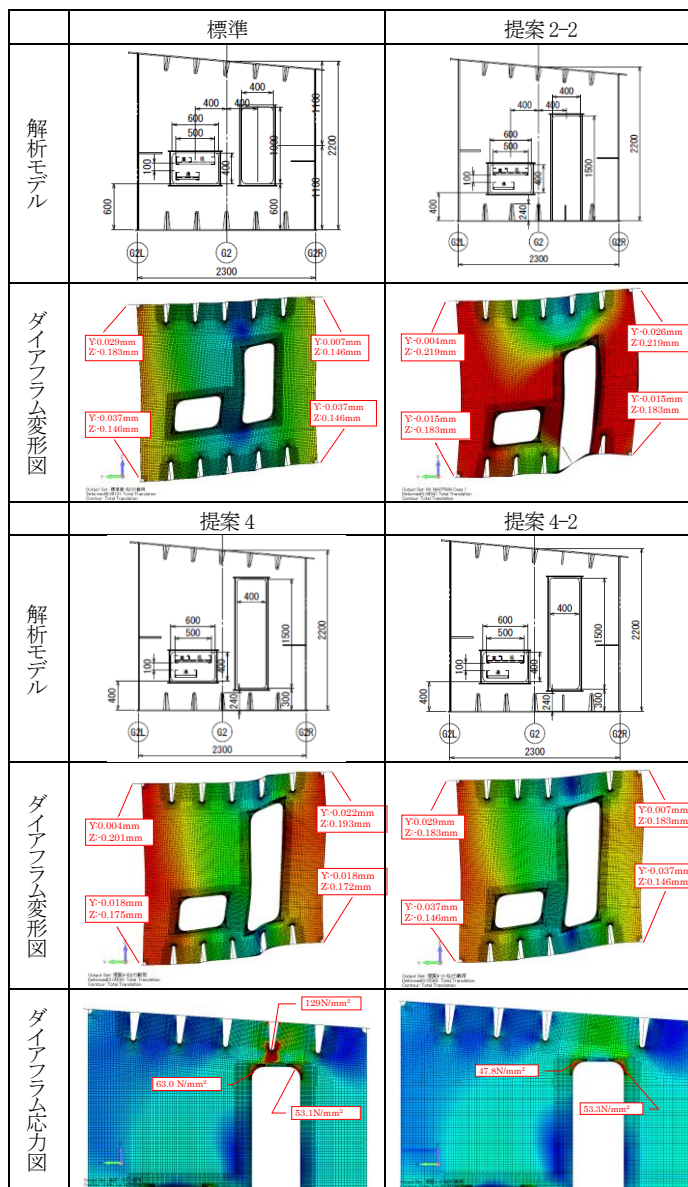


図-4 ねじりモーメント載荷時のダイアフラムの変形図及び vonMises 応力

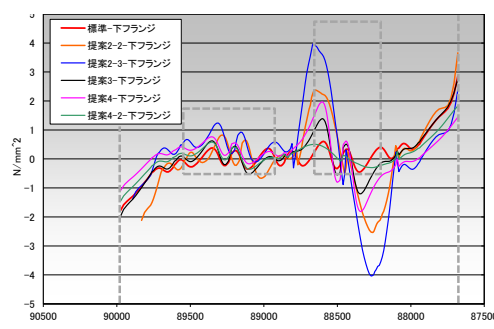


図-5 ねじりモーメント載荷時の断面変形に伴う付加応力 $\sigma_{DW} + \sigma_{DB}$

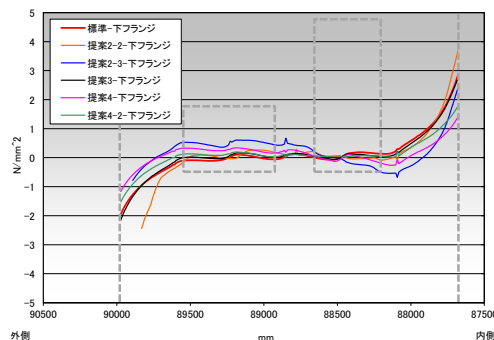


図-6 ねじりモーメント載荷時の断面変形に伴うずりによるそり応力 σ_{DW}