

合成床版を有する中間横桁を省略した連続合成桁の設計 — 福北第503工区 片江高架橋 —

Design of Continuous Composite Girder Having Composite Slabs without Intermediate Cross Beams — Section No.503 of Fukuhoku Katae Viaduct —

小沼靖己*¹ 亀子 学*² 相沢太志*²
Yasumi KONUMA Manabu KAMEKO Taishi AIZAWA

Summary

This bridge uses small-width box girders without cross beams, which is the basic structure of section No.503. This means that composite slabs are used for replacement omitting cross frames. Regarding the 6.3-m span of standard slabs of the section, we have already confirmed the validity of lattice analysis as a design technique. However, the span of the slabs of the bridge is larger than the standard span. Therefore, we must verify the omission of an intermediate cross frame where the slab span is 8258 mm at maximum, along with the safety during the design work using lattice analysis; these are important issues to be addressed.

The present paper reports the results of our studies on the cross-section force acting on the composite slabs having the small-width box girders without intermediate cross beams.

キーワード：連続合成桁、中間横桁、合成床版

1. 工事概要

本工事は、福岡都市高速の環状化を目指す路線の一部である。片側2車線の本線（上下線）標準幅員からONランプ・OFFランプの合流区間を加えた広幅員まで拡幅するバチ形状の路面を、中間横桁を省略した狭小箱桁で

支持する形状である。また、梁の長いT型橋脚2基と門型橋脚1基が施工範囲となっている。本線部の構造一般図を図-1に示す。

本橋の特徴として

- (1) 合成床版を用いた連続合成桁設計
- (2) 中間横桁を省略した狭小箱桁
- (3) 福岡北九州高速道路公社の鋼狭小箱桁橋の設計手

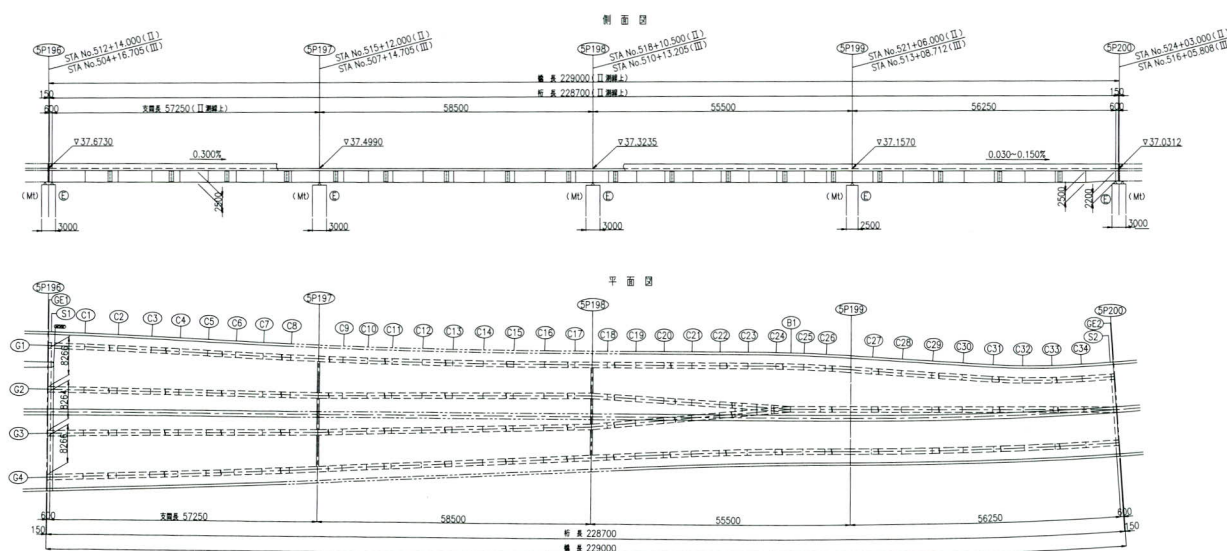


図-1 構造一般図

*¹生産本部千葉工場生産設計グループ

*²技術本部設計部設計グループ

引き(案)にに基づき、ダイヤフラム間隔を腹板の
アスペクト比が3.0以下となるように設定

- (4) 床版支間8.3mの長支間合成床版の採用
- (5) 金属溶射による外面防錆処理

等があげられる。

2. 橋梁概要

(1) 工事概要

工 事 名：第503工区（片江）高架橋

上下部工（鋼橋）新設工事（その2）

路 線 名：福岡高速5号線

上下区分：上下線一体

工事箇所：福岡市城南区片江二丁目～南片江1丁目地内

発 注 者：福岡北九州道路公社 福岡事務所

工 期：平成17年2月11日～平成20年1月31日

受 注 者：宮地・日橋・巴特定建設工事共同企業体

(2) 橋梁諸元

橋 長：58.0m + 58.5m + 55.5m + 57.0m = 229.0m

橋梁形式：4径間連続狭小箱桁橋

幅 員：34.357m～20.550m

3. 中間横桁のない狭小箱桁の合成床版に作用する断面力の検討

(1) はじめに

本橋は503工区の基本構造とされている中間横桁のない狭小箱桁を採用している。これは、合成床版を代替とすることで、横桁を省略しているものである。標準床版支間6.3mについては、503工区の概算設計時にスレンダーボックスを対象とした解析を行い、狭小箱桁の中間横桁省略の実現性を示すと共に、設計手法としての格子解析の妥当性を確認している。

この解析での結論として、

- 1) 中間横桁を取り除いても床版のみで充分分配効果が見込め、中間横桁は省略可能である。
- 2) 分配剛度に床版の分担幅の合成を用いた格子解析を行い設計すれば、安全性が保証できる。
(格子解析値 > 一定せん断流パネル解析値 > FEM解析値)

としている。

しかしながら、本橋は床版支間が標準支間より長い。

そのため、

- 1) 床版支間が最大8258mmの場合の、中間横桁省略の検証
- 2) 格子解析を用いた設計での安全性の検証。
という課題が挙げられる。

(2) 検討事項

上記2点について、下記検討を行った。

- 1) 床版支間が8258mmの場合でも、中間横桁省略が可能であることを検討する。具体的には、①床版曲げモーメント、②活荷重たわみ、③主桁曲げモーメント、それぞれについて、横桁の有無による解析値の違いを比較し、床版のみでも十分な荷重分配効果が得られることを明らかにする。
- 2) 床版支間が6mを大幅に上回る場合でも、格子解析で設計すれば安全であることを検討する。具体的には、床版の橋軸直角方向の曲げモーメントを算出し、一定せん断流パネル解析と平面格子解析結果とを比較して、格子解析値 > 一定せん断流パネル解析値であることを明らかにする。
- 3) 一定せん断流パネル解析により求められるT荷重による床版曲げモーメントと、鋼構造設計指針による床版曲げモーメント算出式とを比較し、床版支間が8mを超える場合でも算出式を適用できることを検討する。

(3) 一定せん断流パネル解析

構造解析は、一定せん断流パネルを用い鋼桁と合成床版を別々の部材にモデル化して行う。一定せん断流パネル部材は床版及び合成床版と主桁との間に挿入する。合成床版と主桁との間に挿入する一定せん断流パネル部材は、両者の偏心間隔を保持するとともにスタッドのずれ剛性を評価することもできる。通常であればこうした解析はFEMによらなければならないが、一定せん断流パネルを用いることによって床版と主桁との偏心結合の影響、床版の版構造としての特性などを効率よく解析できる。一定せん断流モデルを図-2に示す。

(4) 解析モデル

解析には桁の分岐、幅員変化の影響を排除するため、図-3のような直橋モデルとした。比較する格子解析モデルも直橋モデルとし、横桁の剛性として合成床版の剛度を使用した。

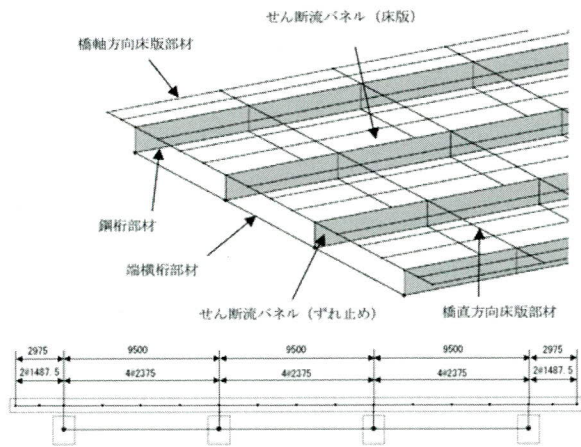


図-2 一定せん断流モデル

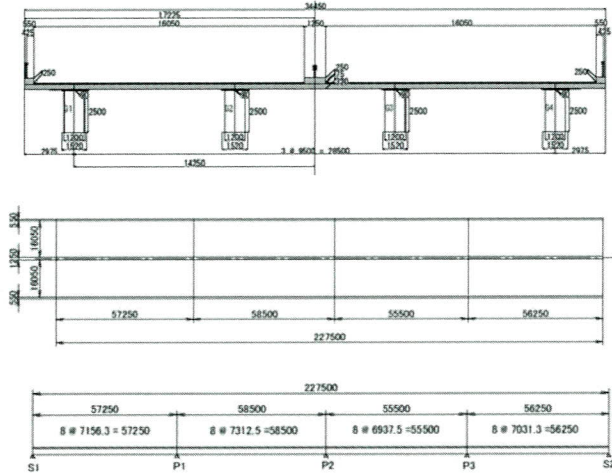


図-3 解析モデル

(5) 解析結果

1) 床版曲げモーメント

後死+活荷重(L荷重)を載荷した状態の、橋軸直角方向(主鉄筋方向)曲げモーメントを図-4に示す。この結果、活荷重Max、Minにかかわらず変形の形状は同じだが、横桁なしモデルは横桁ありモデルに比べて発生曲げモーメントが1.5倍程度となる。

2) 活荷重たわみ

活荷重(L荷重)による橋軸方向の主桁変形量を図-5に示す。この結果、活荷重Max、Minにかかわらず、横桁の影響が微小であることがわかる。

3) 活荷重載荷時の主桁曲げモーメント

後死+活荷重(L荷重)を載荷した状態の、橋軸方向(主桁)曲げモーメントを表-1に示す。この結果、活荷重Max、Minにかかわらず、横桁の影響が微小である

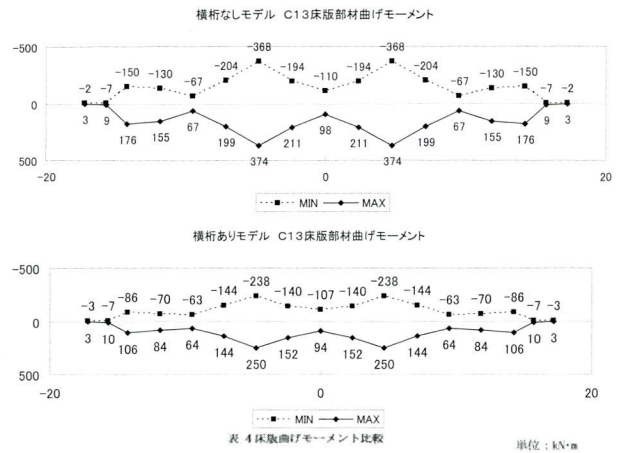


表 4 床版曲げモーメント比較 単位: kN・m

	横桁なし	横桁あり	比率 無/有
Max	424.235	283.955	1.494
Min	-414.255	-268.26	1.544

図-4 床版曲げモーメント図

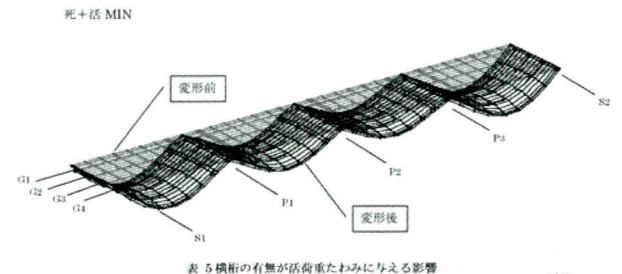


表 5 横桁の有無が活荷重たわみに与える影響 単位: mm

死+活MIN	横桁なし	横桁あり	比率 無/有
G1	-46.15	-45.86	1.006
G2	-41.22	-40.80	1.010
G3	-41.22	-40.80	1.010
G4	-46.15	-45.86	1.006

死+活MAX	横桁なし	横桁あり	比率 無/有
G1	12.48	12.40	1.006
G2	11.85	11.49	1.031
G3	11.85	11.49	1.031
G4	12.48	12.40	1.006

図-5 活荷重たわみの比較

ことがわかる。

4) T荷重載荷時の解析結果

中央径間の支間中央にT荷重を載荷した場合の床版部曲げモーメントについて、横桁の影響を検討する。

曲げモーメントは図-8に示すとおりであり、横桁があると支間部の正曲げモーメントが減少し、支点部の負曲げモーメントが増加する傾向がある。これは、横桁を設けることにより主桁が回転しにくくなり、主桁位置での床版の回転拘束度合いが高まるためである。

合成床版は、基本的に正曲げに強く、負曲げに弱いのので、横桁のない構造は合成床版にとっては好ましい傾向にある。また、床版と主桁とのすれ止めに作用する力も

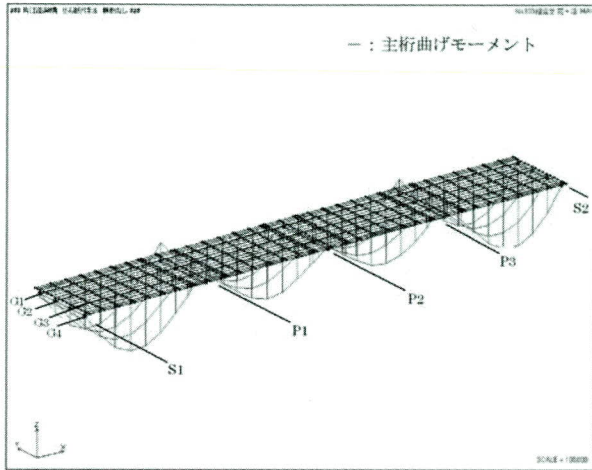


図-6 横桁なしモデル

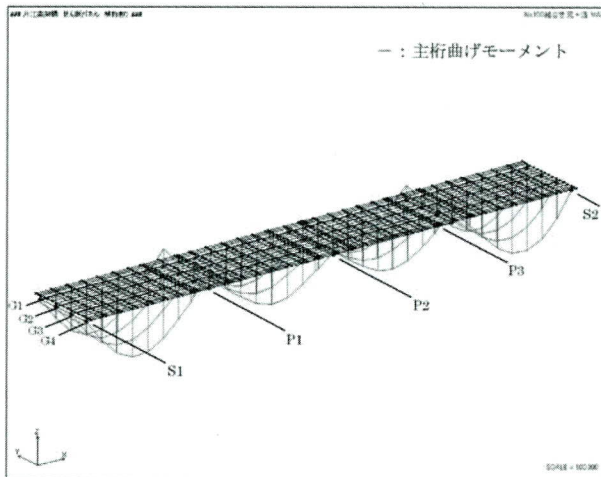


図-7 横桁ありモデル

表-1 主桁曲げモーメント比較

単位：kN・m						
			横桁なし		横桁あり	
			Min	Max	Min	Max
G1	Min	P1 支点上	-11918.2	-11861.1	1.005	
	Max	P1-P2 支間中央	6240.2	6196.8	1.007	
G2	Min	P1 支点上	-10778.9	-10668.4	1.010	
	Max	P1-P2 支間中央	5588.6	5497.0	1.017	
G3	Min	P1 支点上	-10778.9	-10668.4	1.010	
	Max	P1-P2 支間中央	5588.6	5497.0	1.017	
G4	Min	P1 支点上	-11918.2	-11861.1	1.005	
	Max	P1-P2 支間中央	6240.2	6196.8	1.007	

減少することになる。

5) 平面格子解析モデルとの比較

横桁相当断面力を算出するため、床版の橋軸直角方向の曲げモーメントを算出し、平面格子解析結果と一定せん断流パネルを用いた解析の結果を比較する。ここで、比較対象とするのは「後死荷重+活荷重」における床版橋軸直角方向の曲げモーメントである。曲げモーメント

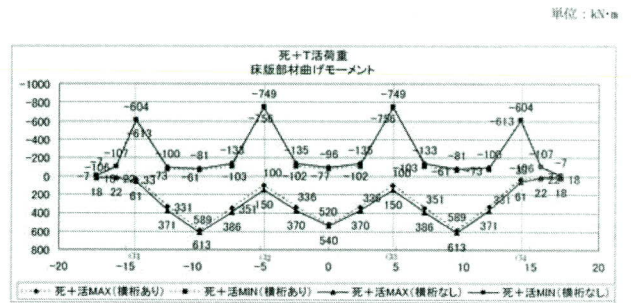


図-8 T荷重載荷時の解析結果

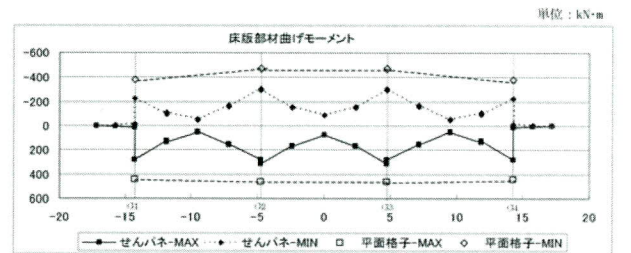


図-9 床版のC13橋軸直角方向曲げモーメント

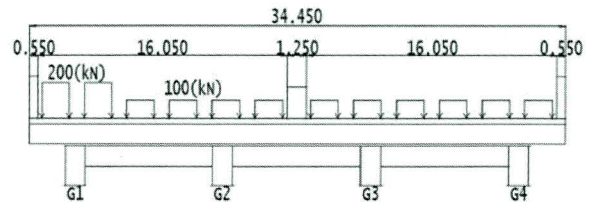
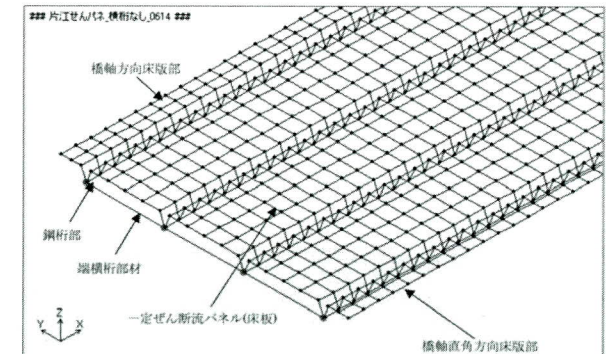


図-10 解析モデル

表-2 解析結果

単位:kN・m/m

		道示式	鋼構造式	解析値		
				径間中央部	中間支点部	
主鉄筋方向	Max	桁間中央	110	87.2	84.05	71.03
	Min	中間支点上	-176.8	-87.2	-121.21	-135.18
	Min	端主桁上	-68.3	-68.3	-69.66	-70.40
配力筋方向	Max	桁間中央	69.6	70.9	81.93	74.73
		張出先端部	35.9	35.9	45.70	39.64
	Min	桁間中央	-	-	-21.30	-27.10
		張出先端部	-	-	-18.06	-22.66

最大、最小を示すC13横断の結果を図-9に示す。格子解析>一定せん断流パネル解析値となる。

6) 活荷重床版曲げモーメントの算出

本橋梁では最大床版支間が8mを超えているため、解析よりT荷重載荷時の床版曲げモーメントを算出し、道路橋方書²⁾(以下、道示)の算出式、鋼構造設計指針³⁾の算出式と比較をする。

荷重としては、道示に基づくT荷重を床版縁部材の断面力が最大、最小となるように影響面載荷している。解析モデルを図-10に示す。これらの計算は、通常の道路荷重載荷プログラムと同様の処理であり、自動化されている。

なお、衝撃係数については、桁間部床版は主桁間隔、張り出し部は張出長を支間長とした道示に記載されている衝撃係数を考慮した。

一定せん断流パネル解析により求めたT荷重による床版曲げモーメントと、道示、鋼構造設計指針の床版曲げモーメント算出式による値とを比較すると、床版支間が8.3m程度の場合、主桁支点上の床版曲げモーメントが道示、鋼構造設計指針から算出した曲げモーメントを超過することがわかる(表-2)。

7) 検討結果

以上の検討により、次のことが言える。

- (a) 支間が6.0mを超え、8.3m程度の場合でも、①床版曲げモーメントの形状、②活荷重たわみ、③主桁曲げモーメントのそれぞれについて、横桁の有無による有意な差は見られず、床版のみでも十分な荷重分配効果が得られることが明らかになった。ただし、床版の橋軸直角方向曲げモーメントは1.5倍程度となる。

- (b) 床版支間が6.0mを超え、8.3m程度の場合でも、床版の橋軸直角方向の曲げモーメントを算出して、一定せん断流パネル解析と平面格子解析の結果を比較したところ、格子解析値>一定せん断流パネル解析値であることが明らかになった。

- (c) 一定せん断流パネル解析により求めたT荷重による床版曲げモーメントと道示、鋼構造設計指針の床版曲げモーメント算出式による値とを比較した。床版支間が8.3m程度の場合、主桁支点上の床版曲げモーメントが、鋼構造設計指針の曲げモーメント算出式を超過している。そこで、本橋では、中間横桁のない床版支間8.3mの細幅箱桁と床版を、FEMモデル化してT荷重を載荷した解析を行い、発生する床版曲げモーメントが道示、鋼構造設計指針の床版曲げモーメント算出式による値よりも小さくなることを確認し、鋼構造設計指針の床版曲げモーメント算出式を適用できることを確認した。解析の詳細については別稿の「床版支間が8mを超える長支間合成床版(QS)スラブの設計」に示す。

4. 中間横桁を省略した細幅箱桁合成桁のずれ止め設計に関する検討

(1) 検討方針

本検討では、中間横桁を省略し床版に荷重分配効果を期待した3主桁の細幅箱桁構造について、床版と主桁の接合部に生じる作用力を明らかにし、ずれ止めの配置方法およびずれ止めの設計方法について検討する。なお、本検討は本工区合同の検討課題として隣接工区が実施したものである。検討の手法については、実験およびFEM解析による検討が考えられるが、今回は時間的な制約があることより、後者の解析の手法により検討を進めることとする。なお、ずれ止め部材としては、最も一般的な頭付きスタッドを用いた検討とする。図-11にFEM解析を用いた検討の流れを示す。解析の対象とした構造は、今回の503工区での標準的な橋梁諸元である床版支間が6mかつ3本主桁の区間である。

(2) 解析モデル諸元

解析モデルの要素種別を表-3に示す。合成床版についてはコンクリート部材をソリッド要素、底鋼板をシェル要素とし、細幅箱桁の鋼板部材はシェル要素でモデル化している。なお、横桁については中間横桁がない構造

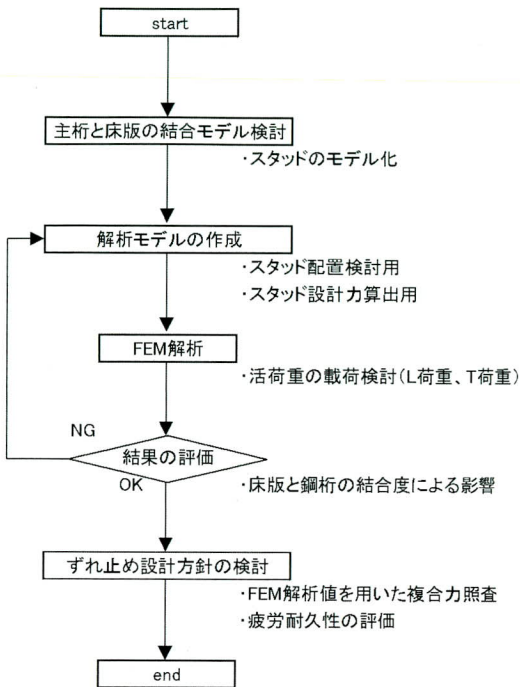


図-11 検討の流れ

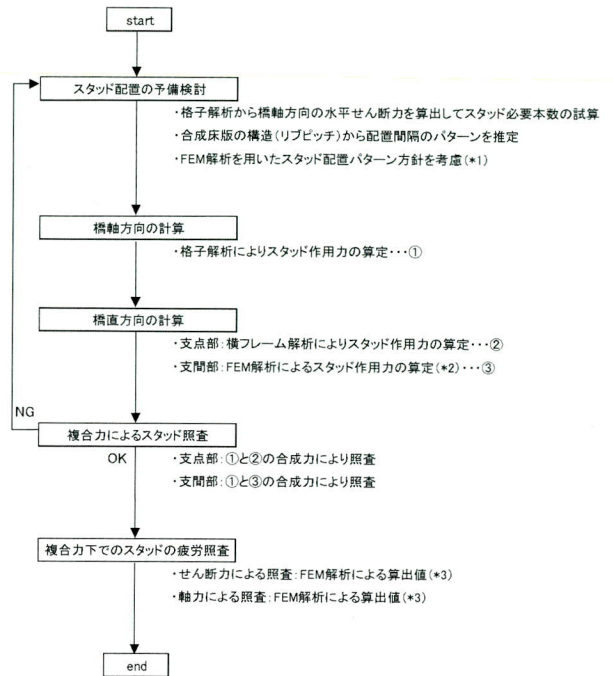


図-13 設計フロー図

表-3 解析モデルの要素種別表

部材	モデル化	要素種別	物元		
			弾性係数 E(N/mm ²)	断面積 A(m ²)	断面2次モーメント I(m ⁴)
床版	コンクリート厚54	○	Solid	1.4 × 10 ⁴	
	産鋼板 t6	○	Shell	2.0 × 10 ⁵	
	鉄筋	×			
主桁		○	Shell	2.0 × 10 ⁵	
横桁		○	Shell	2.0 × 10 ⁵	
ダイヤフラム	t12	○	Shell	2.0 × 10 ⁵	
垂直補剛材	w150 × t12	○	Shell	2.0 × 10 ⁵	
スタッド	φ22 × t150	○	Beam	2.0 × 10 ⁵	3.801E-04 1.150E-08

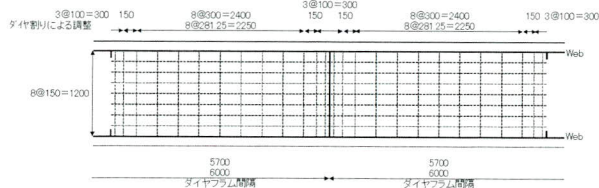


図-12 格点部引抜き力対策配置



写真-1 片高架橋現場架設状況

のため、支点上横桁のみのモデル化とする。

スタッドの配置検討については、検討の結果格点部引抜き力対策配置が最大引抜き力を抑える効果が顕著となった図-12に示す格点部引抜き力対策配置とした。

(3) 検討結果

FEM解析結果を基にしたずれ止めの設計方法に関する設計フロー図を図-13に示す。また、スタッドの疲労照査に関しては、今回のFEM解析値を用いて問題のないレベルであることを確認している。

(4) まとめ

中間横桁を省略した細幅箱桁合成桁のずれ止め設計に

対して、503工区の標準橋梁諸元の場合、道示の規定による従来の合成桁のずれ止め設計を踏襲しつつ、FEM解析によって算出したスタッド作用力を適用することにより、実務上合理的なずれ止め設計を行った。

<参考文献>

- 1) 福岡北九州高速道路公社：鋼狭小箱桁橋の設計手引き(案), 平成17年3月
- 2) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説I・II, 平成14年3月, pp.259
- 3) 土木学会：鋼構造物設計指針 PARTB 合成構造物, 平成9年版, pp.89

2007.2.2 受付