

合成床版を横桁で支持する2主鈹桁橋の提案（その2） — 第二東名高速道路 須津川橋（下り線） —

Proposing the 2-Main-Girder Bridge with a Composite Slab Supported by Cross Beams in Consideration of Durability (Part 2)

— The New TOMEI Expressway SUDOGAWA Bridge (bound for Nagoya Line) —

川村 暁人*¹ 栗田 繁実*² 生駒 元*³ 永山 弘久*⁴
Akito KAWAMURA Shigemi KURITA Motoshi IKOMA Hirohisa NAGAYAMA

Summary

Targetting bridges planned to have wider widths, proposing the 2-main-girder bridge with a composite slab supported with cross beams in consideration of durability. Conventionally, the cross beams were arranged in the middle or lower parts changed into the upper parts. Therefore some problems are concerned. In the vicinity of the intermediate fulcrum, a lower flange may do buckling. The fatigue durability of the main structure such as a principal beam, cross beam is not confirmed. When a vehicle runs, a principal beam and cross beam vibrate. This paper reports analytic inspection for these problems.

キーワード：合成床版、横桁上段配置、横倒れ座屈、車両振動、疲労、FEM

1. まえがき

須津川橋は、中日本高速道路株式会社が建設を進める第二東名高速道路の長泉沼津IC～富士IC間に位置し、**図-1**に示すような橋長699m、有効幅員11.625m（暫定2車線）の13径間連続合成鈹桁橋であり、床版には中間横桁でも連続的に支持された合成床版を採用している。この構造形式は施工性、経済性、安全性等に対して本工事（暫定2車線施工）ばかりでなく、将来の2車線化（有効幅員16.5m）まで考慮して総合的に決定したものである¹⁾。

本構造形式は、須津川橋で初めて採用する構造形式であるため、幾つかの解決すべき課題が指摘されていた。その中でも特に床版の疲労耐久性については、実物大相当の模型試験体を使用した移動載荷疲労試験を実施し、十分な疲労耐久性を有していることを確認した²⁾。また、その他の課題として、

①主鈹の横倒れ座屈に対する懸念

本構造は横桁を上段配置しているため、特に下フランジが圧縮側となる中間支点付近では、圧縮フランジの固定点間距離の考え方等、主鈹の横倒れ座屈に対する検討が必要である。

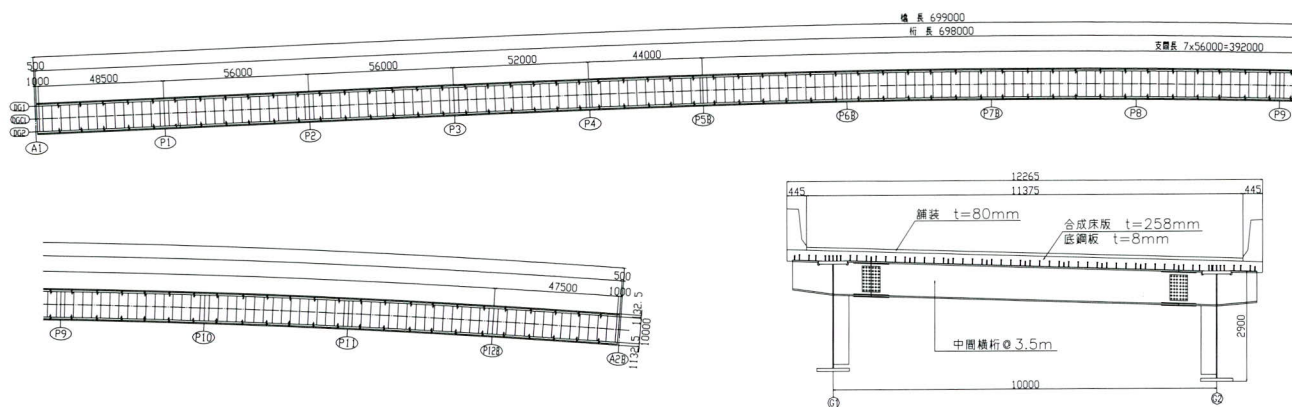


図-1 構造一般図

*¹技術本部設計部設計グループ

*²技術本部保全部保全技術グループ

*³生産本部工場管理部工場管理グループ課長

*⁴技術本部設計部長

②床版を支持する鋼構造部の疲労耐久性

合成床版の疲労耐久性については、実物大疲労試験によりその耐久性を確認したが、床版を支持する鋼構造についても疲労に対する確認が必要である。

③横桁剛性が車両走行へ与える影響

3.5mピッチで配置された横桁直上と横桁間で生じるたわみ差が車両走行へ与える影響について確認する必要がある。

等が挙げられたが、これらに対しては構造的提案およびそれに対する解析的検証を実施し、その安全性を確認している。本論では上記①～③の課題に対する構造提案について具体的に述べるものである。

2. 主桁の横倒れ座屈に対する検討

(1) 検討の目的

本橋は中間横桁が上段配置されているために、中間支点付近の下フランジが圧縮となる範囲では主桁の横倒れ座屈に関する検討が必要であると考えられる(図-2)。ここでは、設計で仮定した固定点間距離、安全率、座屈耐荷力についてFEM解析を用いて検証した結果を報告する。

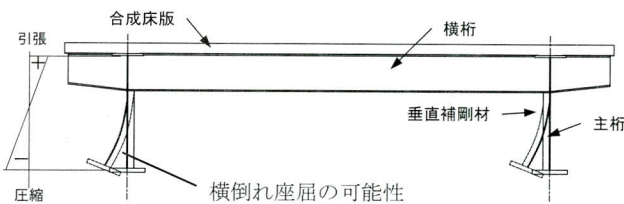


図-2 中間支点部の主桁応力状態

(2) 設計上の仮定と主桁の補強構造

鋼道路橋設計便覧³⁾(以下設計便覧)の『ポニートラスの圧縮弦材の座屈』に準拠し、下フランジが圧縮となる範囲内において、横桁・垂直補剛材の形状から求まるU形フレーム剛性(C)が必要剛性(C')を満足するように(C > C')垂直補剛材の形状を決定した。C及びC'の算出式を①、②に示す。必要剛性(C')を算出する際のαについては設計便覧の表-5.2を参照した。

$$C = \frac{6EI_1 I_2}{h^2(3BI_1 + 2hI_2)} \quad (N/mm) \quad \dots \textcircled{1}$$

$$C' = \frac{\alpha}{\lambda} 2.0N(N/mm) \quad \dots \textcircled{2}$$

U形フレームの概略図を示す(図-3)。I₁:垂直補剛材剛性、I₂:横桁剛性、B:主桁間隔、h:横桁中心から圧縮フランジまでの距離を表している。hの値が大きくなる(圧縮フランジと横桁の距離が長くなる)ほどU形フレーム剛性が小さくなる算出式であることがわかる。横桁が3.5m間隔で上段配置されている本橋では、圧縮フランジの固定点間距離を横桁間隔の1倍(3.5m)、2倍(7.0m)、3倍(10.5m)と仮定した場合に、1倍では垂直補剛材の必要剛性が大きくなり、3倍では圧縮フランジの許容応力度の低減が大きいため、2倍(有効長さ係数を2.0)とすると最も経済的な断面となることが試

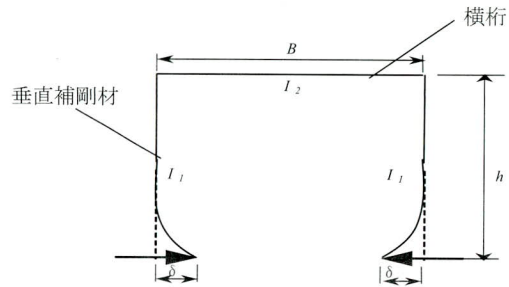


図-3 設計便覧のU形フレーム

固定点間距離(横桁間隔)	3.5m (1.0)	7.0m (2.0)	10.5m (3.0)
U形フレームの必要剛度	42452 (N/mm)	12283 (N/mm)	4558 (N/mm)
主桁下フランジの許容圧縮応力度(SM570-H)	255 (N/mm ²)	234 (N/mm ²)	207 (N/mm ²)
主桁下フランジ厚(mm)	80	91	106
垂直補剛材断面図			

図-4 固定点間距離と補剛材必要剛度との関係

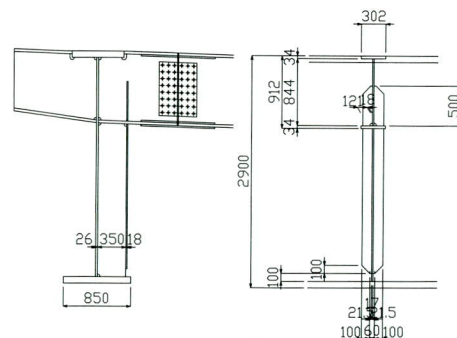


図-5 垂直補剛材の補強

算の結果分かった(図-4)。このため、圧縮フランジの固定点間距離を横桁間隔の2倍(7.0m)として設計を実施した。上記条件にて垂直補剛材の断面を決定し、矩形の垂直補剛材にフランジをつけて剛性を確保した構造(ニーブレス)を採用した(図-5)。

(3) FEM解析による設計の妥当性の検証

1) 概要

本橋では、設計便覧の(表-5.2) Holtの式に基づいて設計を実施したが、実際には中間支点到巻立てコンクリートがあることや主桁剛性が一律ではないことなどがHoltの式との相違点であるため、FEMを実施して検証することとした。

2) 解析モデル

死荷重+活荷重曲げモーメント分布を示す(図-6)。検討の範囲としては主桁下フランジが圧縮領域となる負曲げモーメント区間とする。解析モデル化の範囲は負曲げモーメント区間とし、使用要素は、圧縮力を受ける主桁下フランジ近傍をはり要素、U形フレーム剛性はばね要素を用いてモデル化した(図-7)。作用軸力は断面に作用する応力より算出したので、図-7に示すように中間支点が最大となるような分布で軸力を載荷した。

3) 解析結果

座屈固有値解析を実施し、その座屈固有値から固定点間距離、座屈安全率、座屈耐荷力を算出した。今回の解析ではU形フレーム剛性をパラメータとして解析を実施しており、U形フレーム剛性毎の固定点間距離、安全率、座屈耐荷力の解析結果を示す(図-8)。解析結果を設計で決定したU形フレーム必要剛性: 12,583 (N/mm)に着目してみると、固定点間距離については設計値7.0mに対して6.0m、安全率については設計値2.0に対して10.867、座屈耐荷力については設計値0.891に対して

0.918であった。

(4) 3次元弾塑性有限変位解析による安全性の検証

1) 解析モデル

解析モデルは中間支点を挟んだ10パネルとし、コンクリート部分はソリッド要素、鋼桁部分はシェル要素を用いてモデル化した(図-9)。コンクリート断面は全幅有効としており、床版部分はひび割れた時に橋軸方向と橋軸直角方向とで剛度差があることから異方性を考慮している。

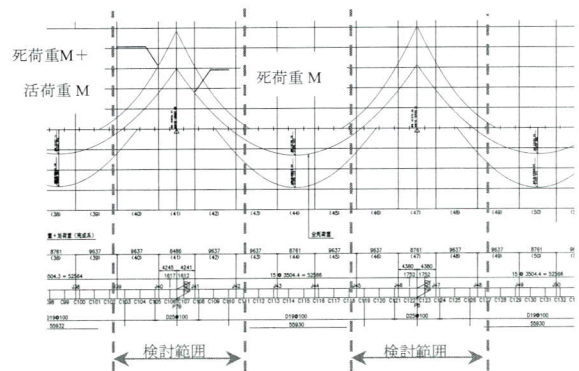


図-6 曲げモーメント分布と検討範囲

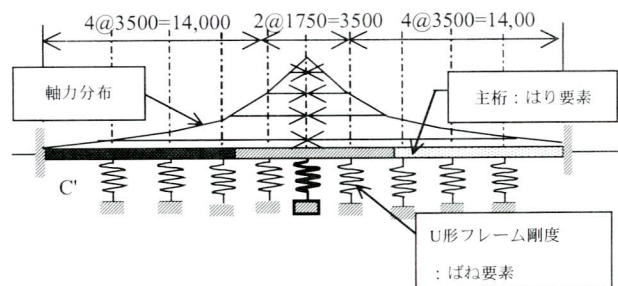


図-7 解析モデル

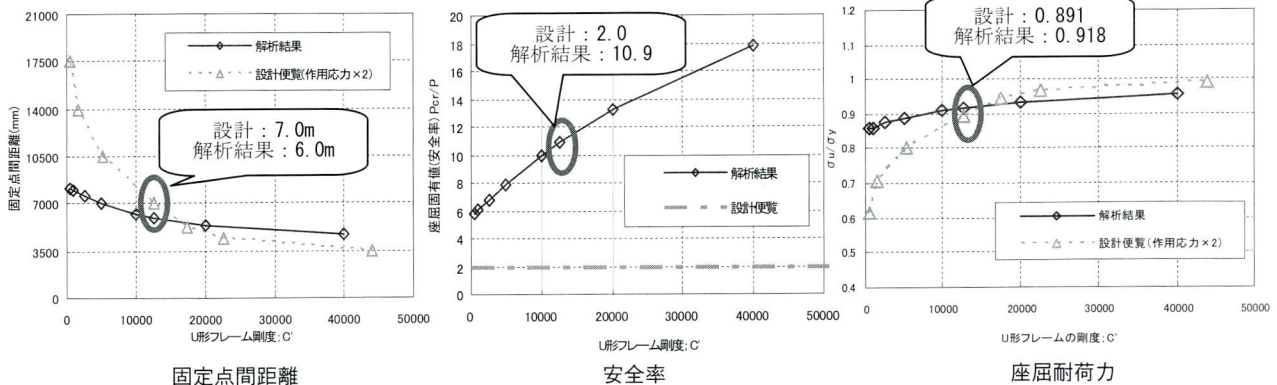


図-8 解析結果と設計便覧による算出結果の比較

2) 初期不整

主桁下フランジには、支間中央で最大 ($L/1000$) となる正弦波形の初期たわみを与えた。残留応力は考慮していない。

3) 載荷条件

死+活荷重の曲げモーメント分布において、中間支点上の曲げモーメントが常時荷重 (D+L) によるモーメントの3倍程度となるように解析モデルの両端に鉛直荷重を載荷した。

4) 境界条件

実構造物において中間支点部の下フランジは支承にて変位が拘束されることを考慮して、支承範囲内の全節点の鉛直方向変位を拘束し、中心の一点については3方向全ての変位を拘束した。

5) 解析結果

荷重-変位関係および荷重-応力関係を示す (図-10)。挙動としてはまずウェブの局部座屈が先行して発生し (②図)、その後中間支点近傍の下フランジ応力 (④図) が降伏に達している (荷重倍率: 2.16)。下フランジの面外変形は線形的な挙動を示しており (①図)、横倒れ座屈は発生していない。④図中には降伏に対する安全度の照査の基準値 (道示Ⅱ-11.3.2) である $1.3D + 2.0L$ 時の荷重倍率 (1.556) を示している。本解析結果における $1.3D + 2.0L$ 時での応力は 320N/mm^2 程度であり、降伏応力 420N/mm^2 (SM570、 $t > 75$) を下回っている。図-11 は最終ステップ (荷重倍率: 2.16) での変形図を示しており、中間支点付近のウェブに大きな面外変形が現れているが横倒れ座屈は発生していないことが判る。

(5) まとめ

本検討では、主桁設計時に仮定した固定点間距離を満足するような必要剛性を有する補強構造を提案し、それに対して2次元FEM解析を実施してその妥当性を検証した。さらに3次元弾塑性FEM解析も実施して、提案した構造の横倒れ座屈に対する安全性を確認した。

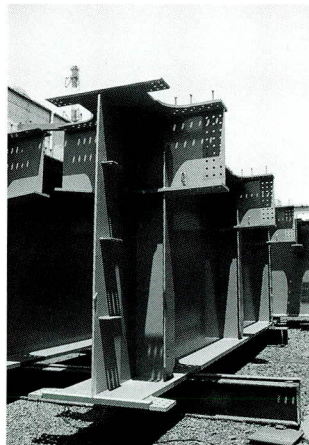


図-12 垂直補剛材の補強写真

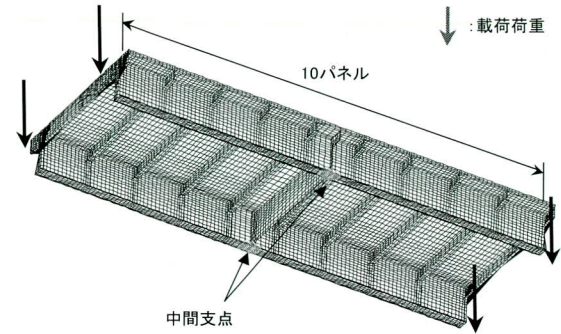


図-9 解析モデル

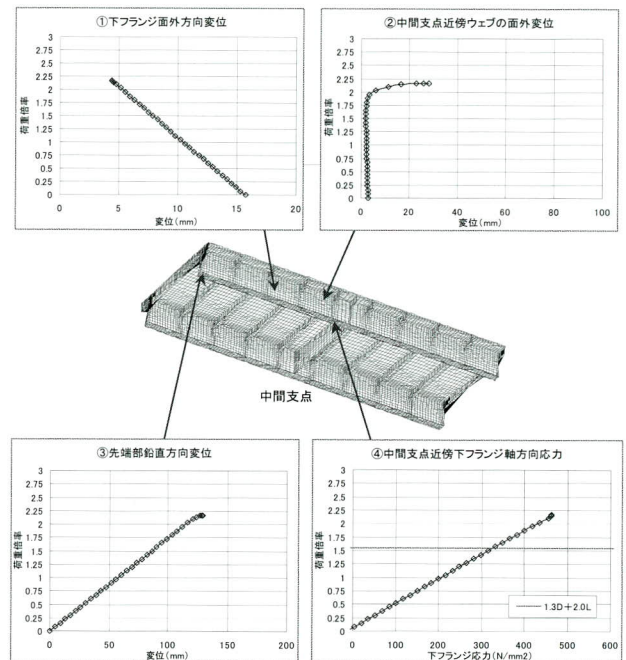


図-10 荷重-変位および荷重-応力関係

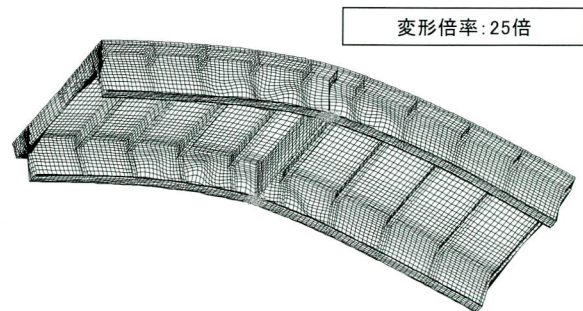


図-11 最終変形図 (荷重倍率: 2.16)

3. 床版を支持する鋼構造部の疲労耐久性の検討

(1) 検討の目的

本橋は上段配置した横桁で合成床版を支持する新しい構造であるため、実物大相当の模型による疲労試験を実施し、合成床版の疲労耐久性は確認したが、それを支持する鋼構造部に対しても同様に疲労に対する安全性の検討が必要であると考えた。そこで本検討では、実験の際に比較的大きな応力振幅が計測された垂直補剛材の横桁下フランジ取り付け部に着目してFEM解析による疲労照査および構造改善を行ったので報告する。

(2) 着目位置

実験供試体は床版の疲労耐久性を確認するためであり、実橋とは主桁下フランジの拘束条件や主桁腹板高などが異なっている。着目箇所である垂直補剛材の横桁下フランジ取付部と、実験時のひずみ計測結果を示す(図-13)。着目位置の計測結果は最小主応力値で20.3MPaであった。実験の載荷荷重は200kNとしているので、疲労応力に換算すると60MPa以上となり比較的大きな値であると考えられるため、実橋モデルにて検討することとした。

(3) FEM解析モデルと構造改善案

1) 概要

垂直補剛材の横桁下フランジ取付部の疲労に対する安全性について、実橋を対象とした3次元FEMモデルを用いて検証した。比較のため、垂直補剛材の横桁下フランジ取付部の形状として矩形の場合とフィレットを用い応力の低減を図った場合とをモデル化した。矩形の場合をType-1、フィレットを用いた場合をType-2とした(図-14)。

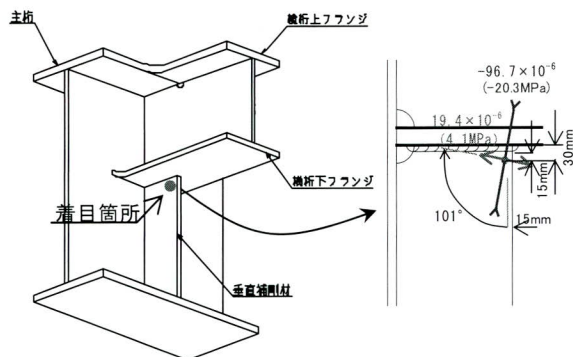


図-13 着目箇所と計測位置

2) 解析モデル

須津川橋13径間のうち、橋梁中心の1.5径間を詳細モデル化範囲として、桁にシェル要素、床版コンクリートにソリッド要素を用いてモデル化した。その他の箇所については、簡略モデル化範囲としてはり要素を用いてモデル化した。着目箇所のメッシュ分割サイズは5mm x 5mmとした(図-15)。

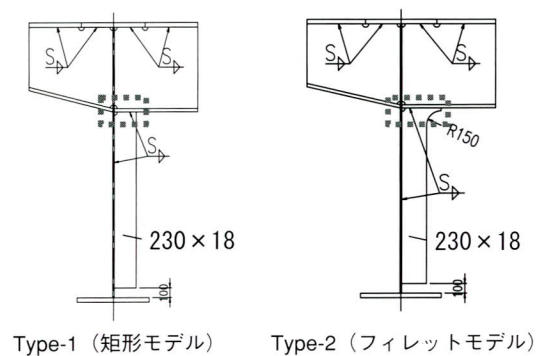


図-14 着目箇所の構造概要

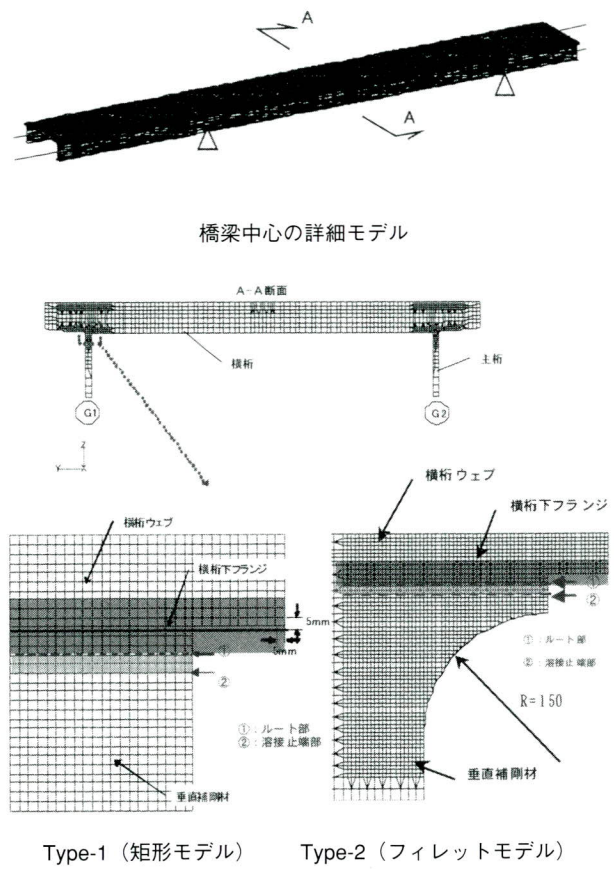


図-15 解析モデル

3) 継手の種類と照査位置

想定している継手は荷重伝達型十字溶接継手のすみ肉溶接である。そのため、止端破壊の照査とあわせてルート破壊の照査も実施した。詳細位置はそれぞれ、①：ルート部、②：溶接止端部とした(図-15)。本照査位置は、横桁下フランジの板厚を考慮している。

(4) 解析結果

着目箇所は高さ方向に主応力が分布しており公称応力による照査が困難であるため、ホットスポット応力を用いた照査を実施した⁹⁾。載荷荷重はT荷重の3倍である600kNとし、レーン載荷した。部位着目した部位の発生応力がもっとも大きい載荷ケース結果を図-16に示す。Type-1の止端部については②止端破壊の強度等級：非

仕上げの場合F等級(一定振幅応力の打ち切り限界：46MPa)に対して76MPa、①ルート部についてはルート破壊の強度等級：H等級(一定振幅応力の打ち切り限界：23MPa)に対して71MPaであった。これに対し、垂直補剛材の横桁下フランジ取付部にフィレットを設け、回し溶接部に応力が集中しないように構造改善を行ったType-2では、溶接止端部の応力が17MPa、ルート部の応力が6MPaまで低減できた。

(5) まとめ

今回着目した垂直補剛材の横桁下フランジ取付部の応力低減策としてフィレット構造を用いることで、打ち切り限界以下の値となることを確認した。

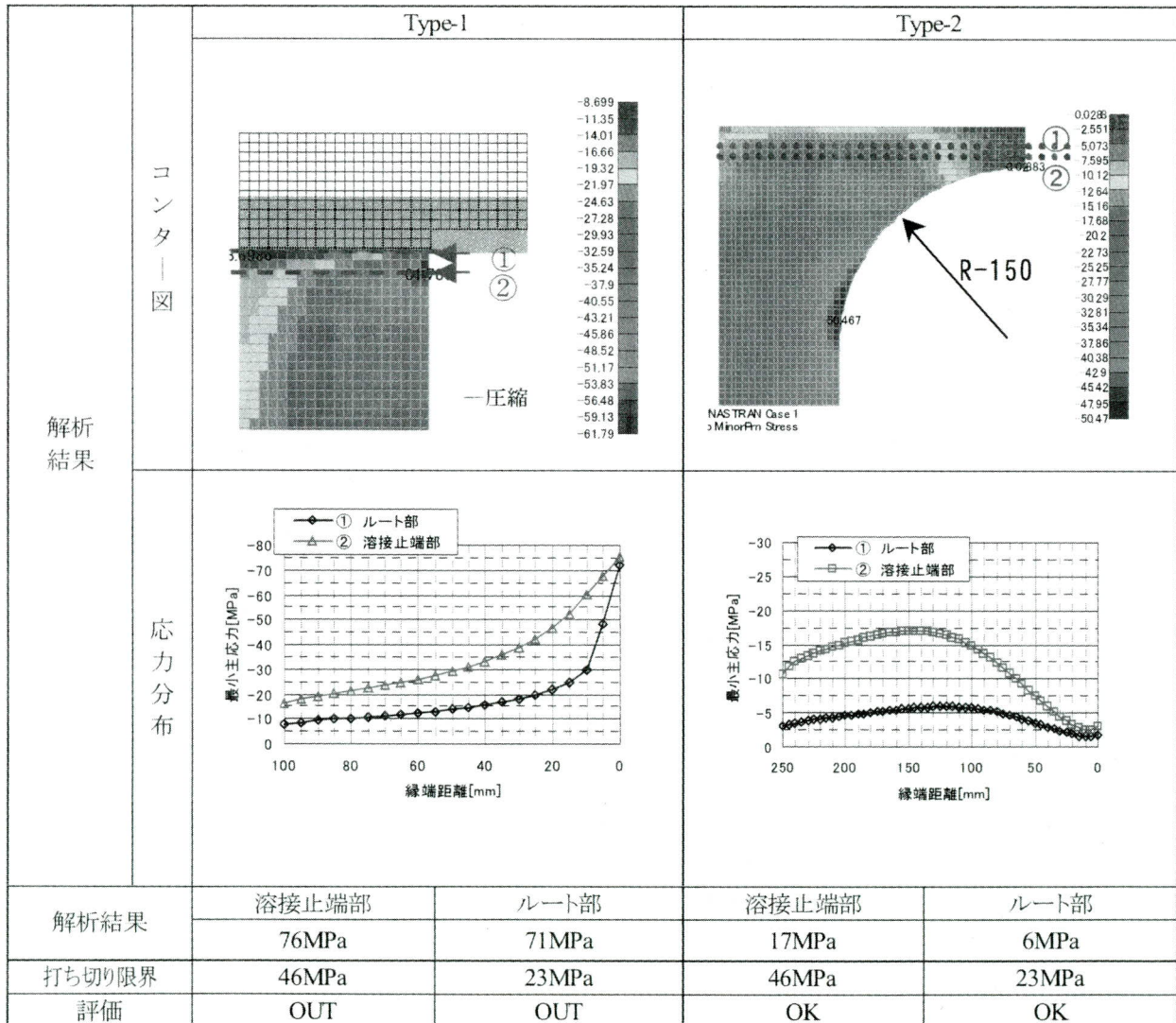


図-16 解析結果

4. 横桁剛性が車両走行に与える影響について

(1) 検討の目的

本橋は合成床版を横桁で支持する構造を採用しているため、中間横桁を上段配置している。このような構造の場合、車両が走行する際に横桁直上とそれ以外の箇所との剛性差によるたわみ差が生じる（図-17）。本検討では、まず静的たわみをFEM解析により算出し、本橋梁の静的たわみ分布を把握した。次に、車両が走行した時の橋梁および走行車の振動特性を、詳細にモデル化した車両モデルを用いた振動解析により把握することを目的とした。

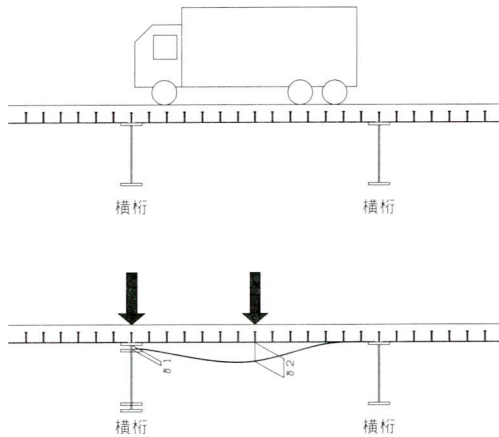


図-17 たわみ差発生イメージ

(2) 静的たわみ分布

1) 概要

荷重を静的に作用させて床版のたわみ分布を算出することにより、横桁上と横桁間中央とでの床版のたわみ差を把握することにした。

2) 解析モデル

主桁作用及び連続桁の影響を考慮するために全13径間をモデル化する。着目している1径間分をシェル要素とソリッド要素を用いて詳細にモデル化し、それ以外のはり要素を用いてモデル化した（図-18）。

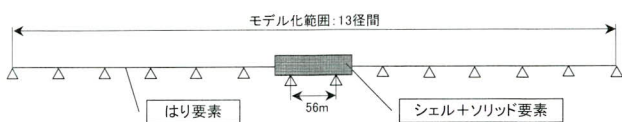


図-18 解析モデル（静的解析）

3) 載荷荷重

橋軸直角方向には主桁間中央位置に1組の荷重をレーン載荷して、橋軸方向には支間中央から支点上へ載荷荷重を移動させた（図-19）。

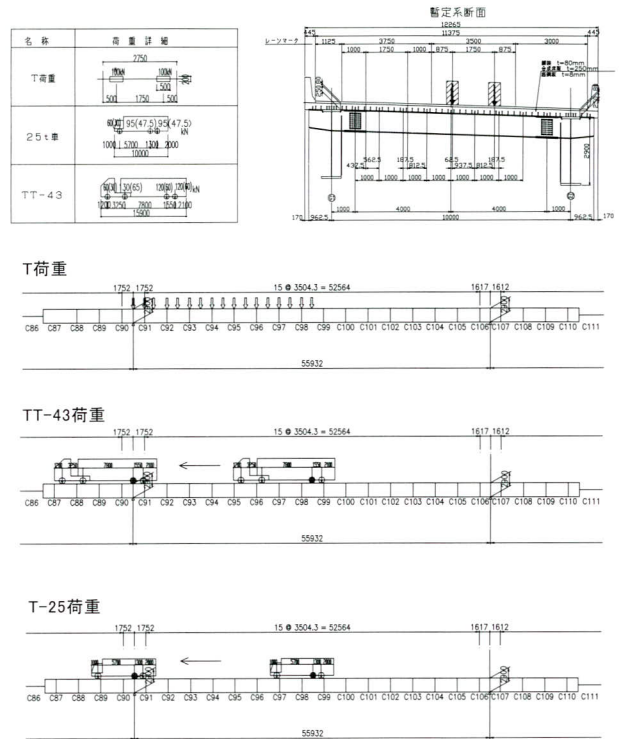


図-19 載荷モデル

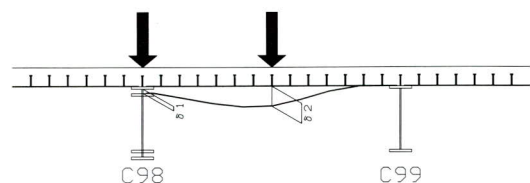
4) 解析結果

支間中央の床版作用によるたわみを $\delta 2$ （C98-C99間）、その隣の横桁上（C98）でのたわみを $\delta 1$ とし、各載荷ケースでのたわみを示す（表-1）。

床版作用によるたわみは1mm以下と小さい。また支間中央における横桁間中央と横桁上とでのたわみの差も0.2mm程度と小さいことがわかった。

表-1 静的たわみ一覧

	支間中央たわみ (mm)			支点上たわみ (mm)
	$\delta 1$	$\delta 2$	$\delta 2 - \delta 1$	
T荷重	0.65	0.84	0.19	0.76
TT-43	0.47	0.71	0.24	0.77
T-25	0.57	0.61	0.04	0.57



(3) 車両走行における振動特性について

1) 概要

前項にて検証した静的たわみ分布より、支間中央と支点上とのたわみに大きな差異はなく、支間中央の横桁間と横桁上とのたわみ差が0.2mm程度ということがわかった。ここでは、そのたわみ差が車両に与える影響を振動解析により確認する。解析ソフトは(株)CRCソリューションズ所有のDYNA-VCを用いて振動解析を実施した。

2) 解析モデル

解析のモデル化の範囲は全橋梁区間とするが、P6～P7区間の82.5m区間を検討区間とし、シェル要素でモデル化した。それ以外の範囲については、はり要素を用いてモデル化した。なお、平面線形・縦断線形は考慮していない(図-20)。

3) 車両モデル

車両モデルについては、(独)土木研究所の「走行車両による橋梁振動の抑制手法に関する試験調査」⁶⁾にて示されているエアサスペンション式の25tfの車両諸元を再現した(図-21)。車両諸元を表-2に示す。

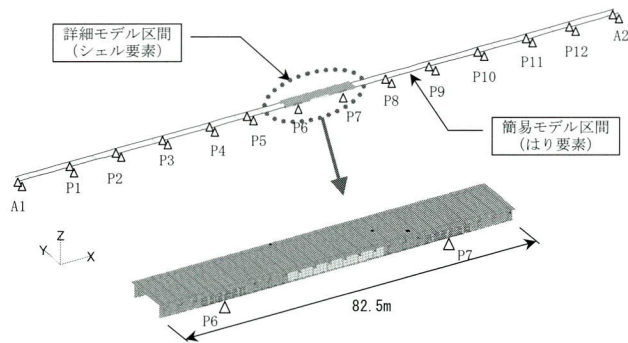


図-20 解析モデル

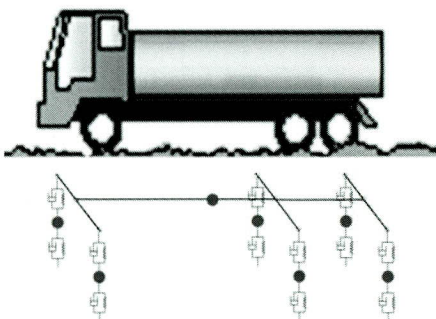


図-21 車両モデル

表-2 車両諸元

項目	単位	エアサス車両
ばね上質量(積載量は含む)	tf	22.1
前軸ばね下質量(タイヤ左右2個分を含む)	tf	0.725
後(後)軸ばね下質量(タイヤ左右4個分を含む)	tf	0.97
後(前)軸ばね下質量(タイヤ左右4個分を含む)	tf	1.23
ばね上重心軸まわり慣性モーメント(積載最大値)	tf・m ²	301
ばね上重心軸まわり慣性モーメント(空荷最小値)	tf・m ²	11
前軸ばね定数(軸左右合計)	tf/m	163(58.2)
前軸タイヤばね定数(タイヤ左右2個分)	tf/m	176
後(後)軸ばね定数(軸左右合計)	tf/m	143(51.2)
後(前)軸ばね定数(軸左右合計)	tf/m	143(51.2)
後前軸タイヤばね定数(タイヤ左右4個分)	tf/m	351
後後軸タイヤばね定数(タイヤ左右4個分)	tf/m	351
後軸ばね下重心軸まわり慣性モーメント	tf・m ²	-
前軸減衰定数(軸左右合計)		3.33
前軸タイヤ減衰定数(タイヤ左右2個分)	tf・sec/m	2.23(1.13)
後(後)軸減衰定数(軸左右合計)	tf・sec/m	4.96
後(前)軸減衰定数(軸左右合計)	tf・sec/m	4.96
後前軸タイヤ減衰定数(タイヤ左右4個分)	tf・sec/m	3.83(1.92)
後後軸タイヤ減衰定数(タイヤ左右4個分)	tf・sec/m	3.83(1.92)
前軸より重心までの距離	m	4.91
重心より後軸中心までの距離	m	0.655
重心より中軸までの距離	m	0.848
後前軸より後軸中心までの距離	m	-
後後軸より後軸中心までの距離	m	-

4) その他条件

その他条件を示す(図-22)。

- ・車両速度：100km/h
- ・解析時間間隔：0.01sec
- ・解析時間：2.97sec

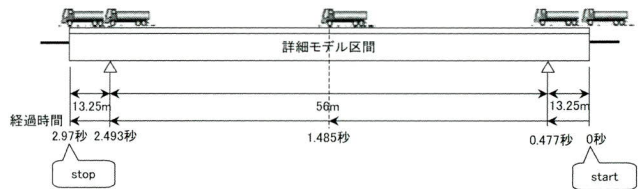


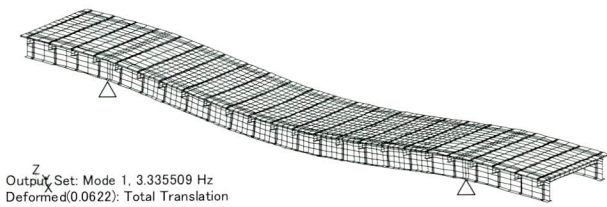
図-22 走行位置と経過時間

5) 固有値解析結果(橋梁モデル)

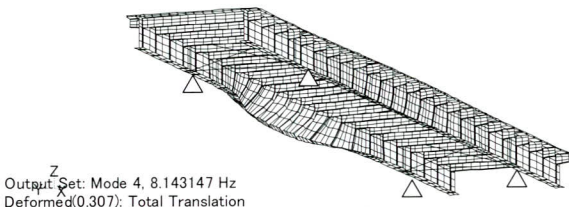
橋梁モデルの固有値解析結果および振動モードを示す(表-3)(図-23)。

表-3 橋梁モデルの固有値解析結果

モード次数	f[Hz]	T[sec]	有効質量[kg]		
			X	Y	Z
1	3.336	0.300	0.000	0.000	462.942
2	4.109	0.243	0.000	53.188	0.000
3	7.973	0.125	0.067	0.000	0.000
4	8.143	0.123	0.000	135.870	0.081
5	8.157	0.123	0.000	40.695	0.273
6	8.995	0.111	0.000	0.000	0.000
7	9.405	0.106	0.001	0.000	0.000
8	10.390	0.096	0.000	266.613	0.000
9	11.330	0.088	0.000	0.000	0.000
10	11.561	0.086	0.000	0.000	37.749



1次モード：鉛直たわみ



4次モード：主桁ねじり

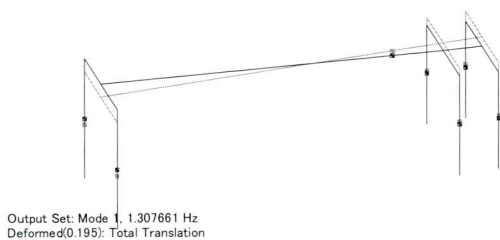
図-23 橋梁の振動モード

6) 固有値解析結果 (車両モデル)

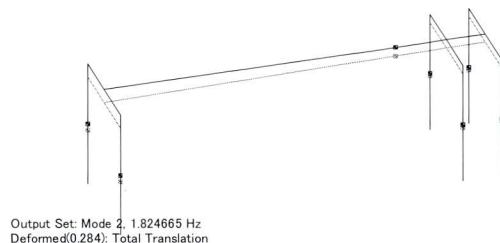
車両モデルの固有値解析結果および振動モードを示す (表-4) (図-24)。

表-4 車両モデルの固有値解析結果

モード次数	f[Hz]	T[sec]	有効質量[kg]		
			X	Y	Z
1	1.308	0.765	0.000	0.000	2.332
2	1.825	0.548	0.000	0.000	21.444
3	8.473	0.118	0.000	0.000	0.000
4	10.011	0.100	0.000	0.000	0.560
5	10.278	0.097	0.000	0.000	0.000
6	10.807	0.093	0.000	0.000	0.182
7	11.111	0.090	0.000	0.000	0.000
8	11.270	0.089	0.000	0.000	0.514
9	38.131	0.026	0.000	23.257	0.000
10	56.203	0.018	24.294	0.000	0.000



1次モード：1.31Hz (ピッチング)

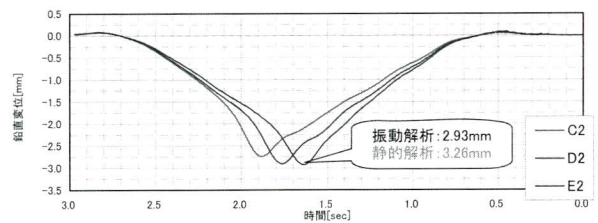
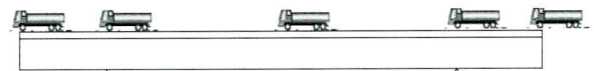
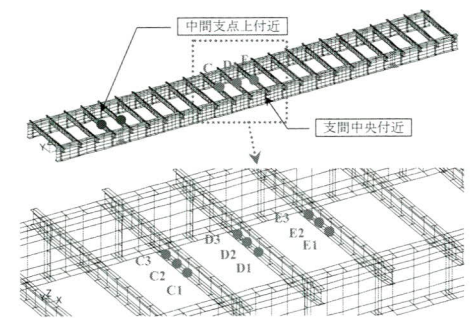
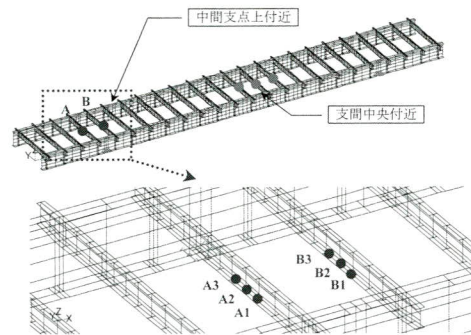


2次モード：1.82Hz (バウンジング)

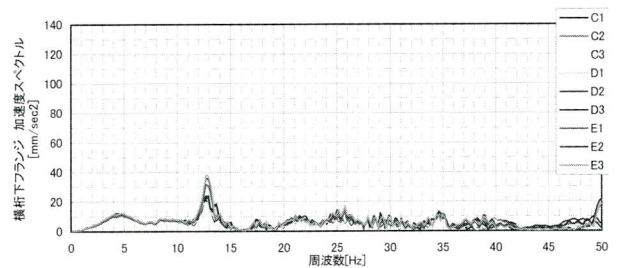
図-24 車両の振動モード

7) 応答変位

横桁下フランジの振動解析結果を示す (図-25)。支間中央の鉛直変位量の時刻歴応答波形、振動加速度波形のスペクトル図を示す。12~14Hz付近の卓越が認められるが、これは横桁の固有振動特性に起因するピークであると推定される。



支間中央たわみの時刻歴応答



横桁下フランジの加速度フーリエスペクトル

図-25 横桁下フランジの応答特性

8) 車両応答変位 (ばね下質点)

車両 (ばね下質点) の応答特性を示す (図-26)。時刻歴変位では、後輪の2軸は同じような挙動を示している。後方2軸の鉛直変位波形には横桁位置の剛度差によって生じる鉛直変位量の差が明瞭に現れているが、その差は最大でも0.1mm程度の大きさである。時刻歴加速度では、横桁間隔毎で変位する振動加速度の状況が明瞭に現れており、その振幅 (半振幅) は120mm/sec²程度である。また加速度のフーリエスペクトルでは、8Hz付近に大きな卓越が認められる。これは剛性差の違う横桁位置を通過することによる振動が現れたものと考えられる。

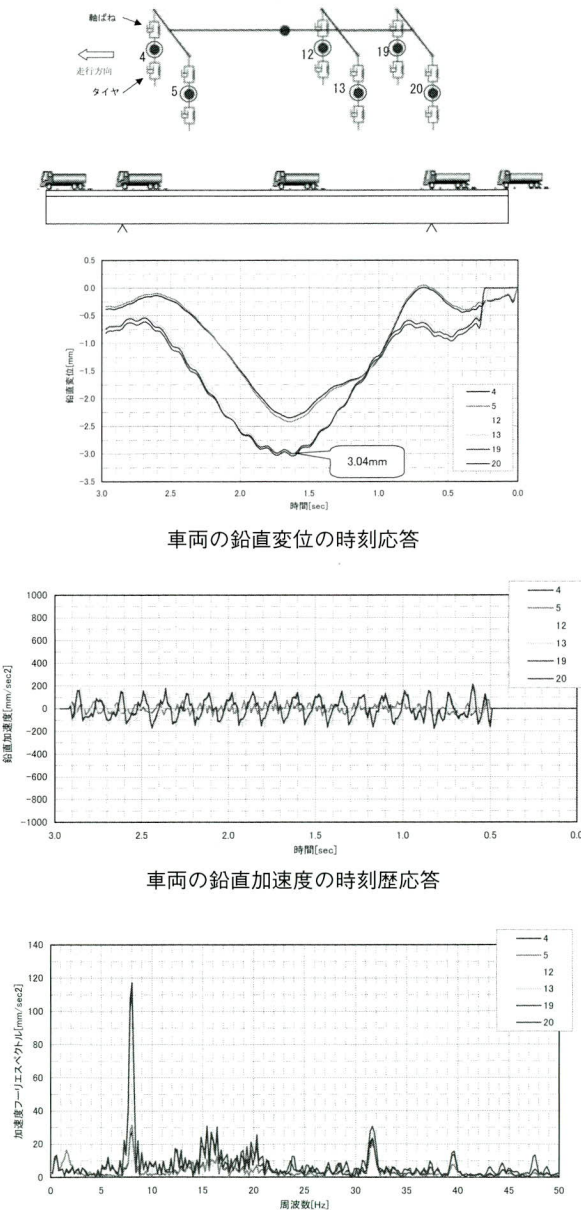


図-26 車両 (ばね下質点) の応答特性

9) 車両応答変位 (ばね上質点)

車両 (ばね上質点) の応答特性を示す (図-27)。鉛直変位波形は滑らかな変位波形となっている。従って、車両が橋梁上を通過する際の横桁直上とそれ以外の箇所とでの剛性差によって生じる鉛直変位量は、車両の鉛直方向の挙動としては小さい変位量である。時刻歴加速度では、0.6, 1.8~2.0, 8.0Hz付近に卓越が認められる。これらは、それぞれ車両によるたわみ、車両のばね上振動 (バウンディング)、剛性差の違う横桁通過による振動が現れたものと考えられる。また、それぞれの加速度は30mm/sec²程度である。

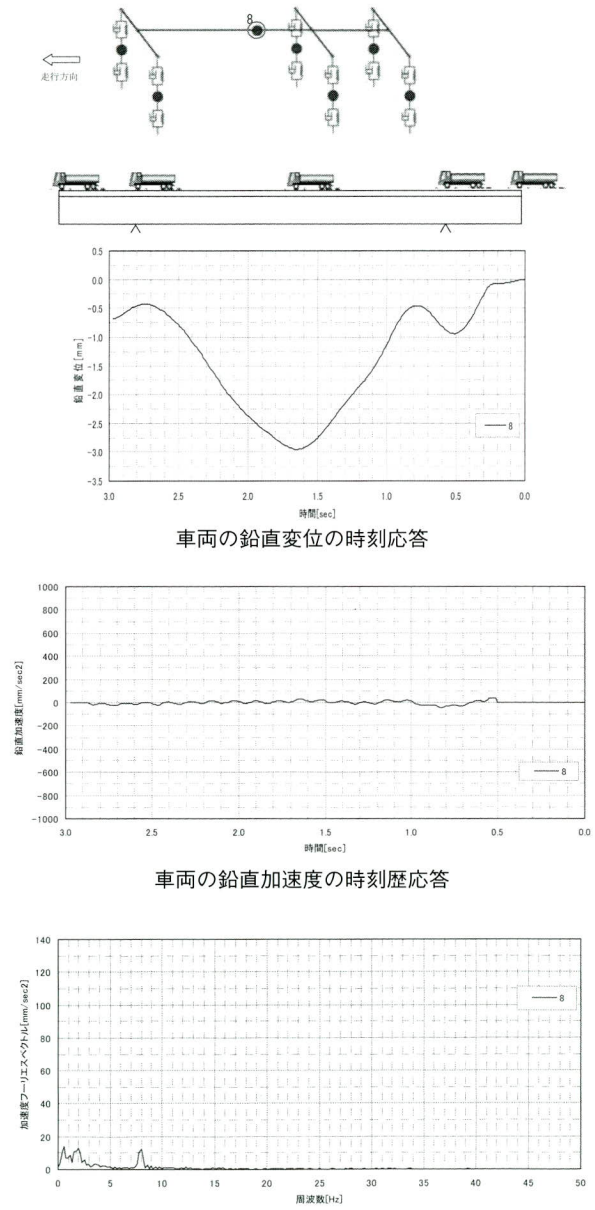


図-27 車両 (ばね上質点) の応答特性

10) 乗り心地について

車両応答変位（ばね上質点）を対象に乗り心地について検討した。

剛度差の異なる横桁直上とそれ以外を通過することによって生じる鉛直変位量の差は0.2mm程度である。この剛度差の異なる横桁を通過することによって生じる振動は、100km/hの速度で走行した場合、約8.0Hzの卓越振動となる。従って、剛度差の異なる横桁を通過することによって生じる乗り心地の評価は、8.0Hz付近の振動について評価するものとした。

一般的に乗り心地の検討を行う場合、図-28に示すJaneway乗り心地係数⁷⁾1.5を超過しないことを目標としており、8Hzにおけるその振動加速度は0.05g程度である。一方、本解析結果で得られた車両（バネ上質点）における加速度は8Hzで30mm/sec²（≒0.003g）程度であり（図-27）、横桁剛性差による振動加速度は目標値に比べて十分に小さい値であった。このことから横桁剛性が車両走行に与える影響は小さいものといえる。

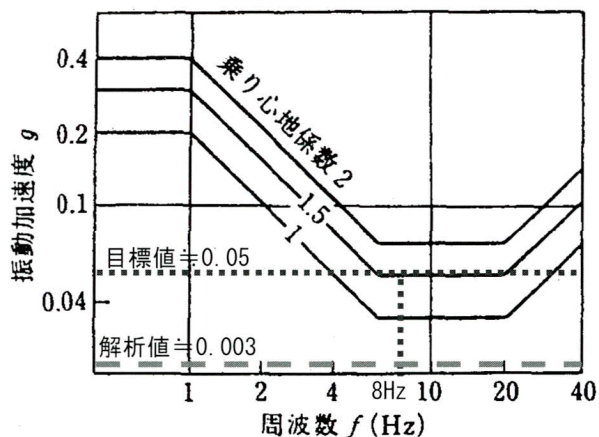


図-28 Janewayの乗り心地係数

(4) まとめ

・設計要領第1集では縦断方向の凹凸の目標値を3.5mm（3mプロファイルメータ）としているが、それに対して横桁剛性差によるたわみは0.2mm程度と小さい値である。

・乗り心地の目安であるJanewayの係数で比較すると、解析で得られた加速度は目標値に対して十分に小さい値であり、横桁剛性が車両走行に与える影響は小さいと言える。

5. まとめ

本橋梁形式は、比較的広幅員の橋梁を計画する場合に経済性を発揮する形式である。また、近年のコスト縮減の影響等を受け、減少幅員で暫定的に供用して、将来的に幅員拡幅を予定するような場合には、トータル的に考えるとさらに経済性において優れている形式であると思われるため、今後の採用の機会は少なくないと考えている。

本論では合成床版を横桁で支持する2主鈹桁橋が有する課題に対する解析的検討および構造改善について述べた。これらの課題の検討にあたっては、中日本高速道路株式会社横浜支社富士工事事務所、「合成床版を横桁で支持する鋼橋形式に関する技術検討委員会」（委員長：松井繁之大阪大学大学院教授＜現大阪大学名誉教授＞）のご指導を賜りました。紙面を借りてこれらの関係各位に厚く御礼を申し上げます。

<参考文献>

- 1) 高橋（昭），高橋（章），栗田，永山，生駒，阪野：将来拡幅を考慮した橋梁の構造形式検討，第60回年次学術講演会2005，9月。
- 2) 萩原，青木，栗田，阪野，永山：横桁で支持された合成床版の移動載荷疲労試験，第五回道路橋床版シンポジウム講演論文集2006年，7月。
- 3) 日本道路協会：鋼道路橋設計便覧，昭和55年8月。
- 4) 高橋，鈴木，築山，永山，生駒，阪野：上段配置した横桁で合成床版を支持する2主鈹桁橋の開発，第6回複合構造シンポジウム2005，11月。
- 5) 日本鋼構造協会：鋼構造物の疲労設計指針・同解説，1993，4月。
- 6) 村越，新井，長屋：走行車両による橋梁振動の抑制手法に関する試験調査，H14～H17。
- 7) 土木学会：鋼構造シリーズ⑨A 鋼構造物設計指針PART A 一般構造物，平成9年版

2007.2.2 受付