

平成24年度 技術発表会
コンパクト断面設計を採用した
鋼連続合成桁橋
—首都圏中央連絡自動車道 金谷郷高架橋工事—



 日本橋梁建設協会
設計小委員会 構造技術部会

発表内容

1. 工事概要
2. 背景
3. 設計概要
4. 断面構成
5. 当初計画との比較
6. 安全性の検証
7. さいごに

1. 工事概要

工事概要

発注者: 東日本高速道路株式会社
 受注者: 株式会社東京鉄骨橋梁
 所在地: 千葉県山武郡大網白里町金谷郷
 路線名: 首都圏中央連絡自動車道
 工期: 平成20年9月6日～平成24年8月25日
 橋長: 185.3m
 幅員構成: 10.26m
 鋼重: 250t

位置図



構造一般図

鋼5径間連続合成2主桁橋 (PC床版)
 当初計画



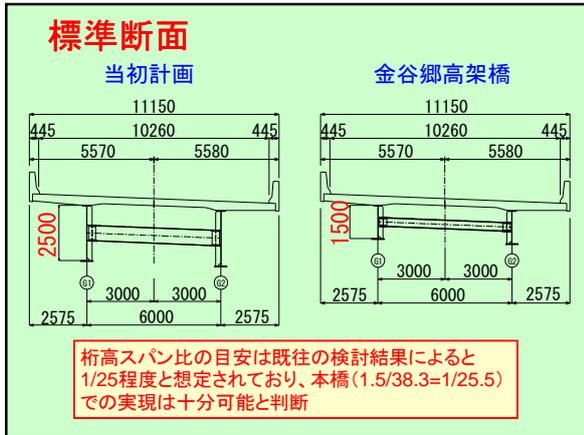
橋長185300 (CL上)
 支間長38300 38300 34600 450

町道 主要地方道

交差道路の建築限界により桁高を変化

金谷郷高架橋 橋長185300 (CL上)
 支間長38300 38300 34600 450

交差道路の建築限界により決定する桁高1.5mで統一



2. 背景

鋼桁橋の合理化の取り組み

- 部材加工手間の減による合理化桁構造
- PC床版の採用による2主桁
- 2主桁の連続合成桁化

新琴似高架橋
(札幌自動車道)
平成4年

ホロナイ川橋
(北海道縦貫自動車道)
平成8年

大津呂川橋
(近畿自動車道)
平成14年

鋼 I 桁橋のさらなる合理化への取り組み

すでに2主桁による合理化をしており**構造対応では困難**

・コンパクト断面という新たな断面思想の導入
・限界状態設計法の採用

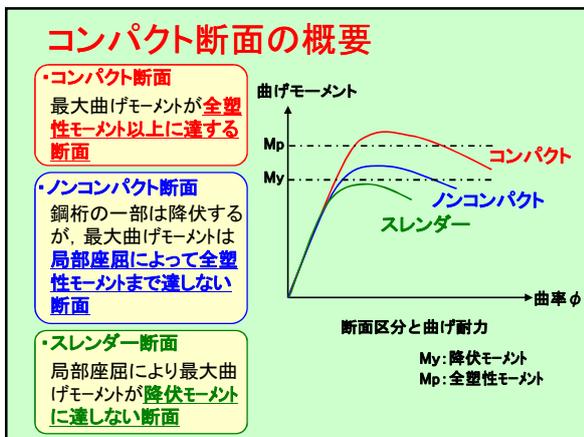
コンパクト断面の概要

合成桁の発展として、終局時に至るまでウェブに座屈を生じさせず**全塑性状態に達する断面**を構成できれば...

塑性中立軸がUFLG側に移動

- ・圧縮を床版が負担
- ・引張を鋼桁が負担

鋼とコンクリートの性能を活かし、座屈による**急激な崩壊**がなく**ねばり強い合理的な設計**が可能



3. 設計概要

照査項目

限界状態設計法の照査項目

- ◆終局限界状態の照査
- ◆使用限界状態の照査
- ◆疲労限界状態の照査
- ◆架設時の照査

全ての照査項目を満足させる

照査概要

◆終局限界状態の照査

終局限界状態では、基本的にAASHTOの考え方に従ってコンパクト断面、ノンコンパクト断面の判定を行って断面決定を行う。照査荷重は、「道路橋示方書」の降伏に対する荷重組合せを参考に、**コンパクト断面では(1.3D+2.0L)、ノンコンパクト断面では(1.3D+2.0L+C+S)**とする。

照査概要

◆使用限界状態の照査

使用限界状態では、実際に起こりうる最大荷重(D+L+C+S+T)に対して、鋼材が永久変形を起こさないように設計する。具体的には、最大応力が**降伏応力あるいは座屈応力に対して15%の余裕(1.15の安全率)**を持つよう設計する。

D:死荷重 L:活荷重 C:クリープ
S:乾燥収縮 T:温度差

照査概要

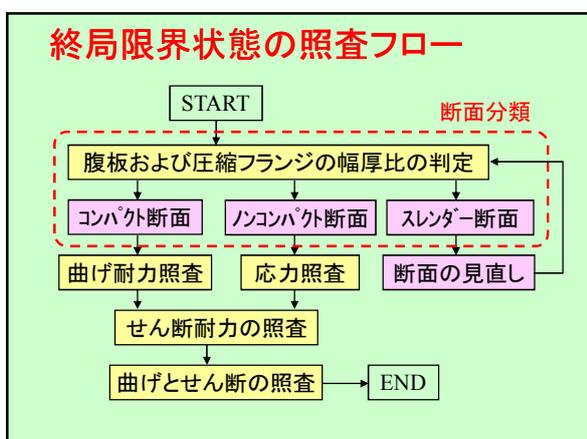
◆疲労限界状態の照査

「鋼道路橋の疲労設計指針」に従って照査する。

◆架設時の照査

架設段階で鋼桁に生じる最大断面力に対して、「道路橋示方書」に従って照査する。

本橋の架設工法はトラッククレーンベント架設であるため、前死荷重に対して照査した。



断面分類(コンパクト・ノンコンパクト判定)

AASHTOの判定規定

1. 腹板の判定規定

1) **コンパクト断面**

$$\frac{2 \cdot D_{ep}}{t_w} \leq 3.76 \sqrt{\frac{E}{\sigma_y}}$$

2) **ノンコンパクト断面**

$$\frac{2 \cdot D_c}{t_w} \leq 5.7 \sqrt{\frac{E}{\sigma_y}}$$

3) **スレンダー断面**
 上記以外

2. 圧縮フランジの判定規定

1) **コンパクト断面**

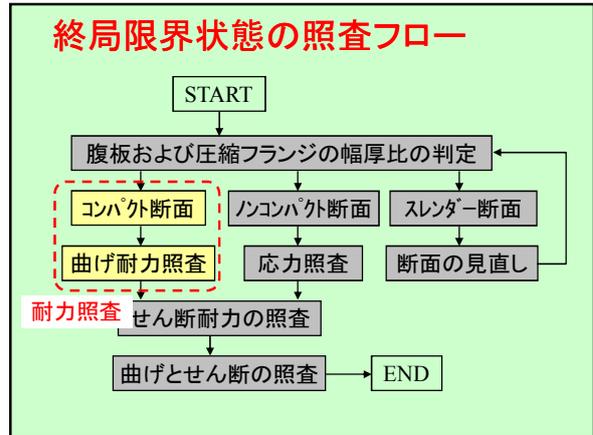
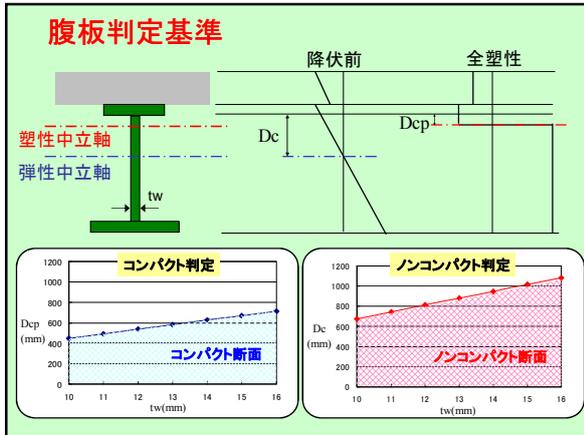
$$\frac{b_c}{2t_c} < 0.38 \sqrt{\frac{E}{\sigma_y}}$$

2) **ノンコンパクト断面**

$$\frac{b_c}{2t_c} < 0.56 \sqrt{\frac{E}{\sigma_y}}$$

3) **スレンダー断面**
 上記以外

Dep, Dc: 腹板の圧縮領域高さ長
tw: 腹板の板厚 bc: フランジ幅 tc: フランジの板厚



曲げ耐力の照査

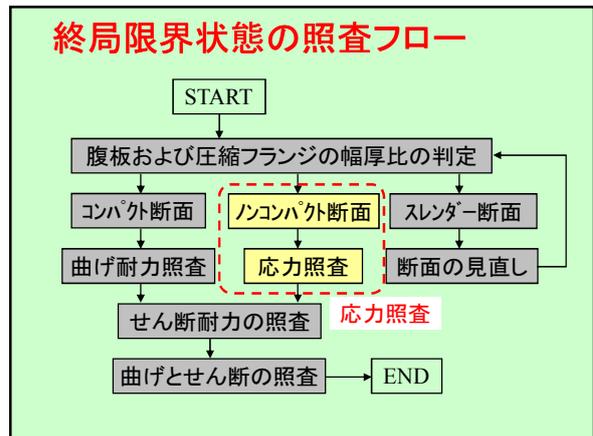
コンパクト断面の照査

$M_{sd} < M_{rd}$

M_{sd} : 応答値 (設計断面力)
 M_{rd} : 制限値 (設計部材耐力)

$M_{rd} = \min(M_p, 1.3M_y)$

M_p : 全塑性モーメント
 M_y : 降伏モーメント



応力照査

ノンコンパクト断面の照査

1) 圧縮フランジ

① 局部座屈に対する抵抗強度
 σ_{nc1} : 道示の局部座屈に対する許容応力 $\times 1.7$

② 横座屈に対する抵抗強度
 σ_{nc2} : 道示の横倒れ座屈の許容応力 $\times 1.7$

①, ②の小さい値を抵抗強度として照査する。
 $\sigma \leq \min(\sigma_{nc1}, \sigma_{nc2})$

2) 引張フランジ
 降伏強度に対して照査する。
 $\sigma \leq \sigma_y$



せん断耐力の照査

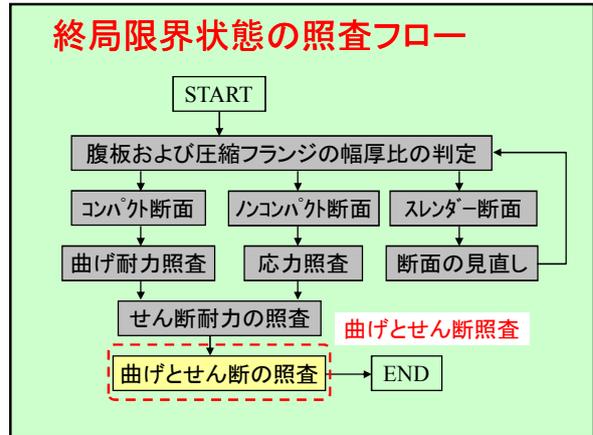
コンパクト断面、ノンコンパクト断面の照査

せん断耐力は、**Baslerの式**を用いて照査する。

$$\frac{V_{rd}}{V_y} = \frac{\tau_{cr}}{\tau_y} + \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{1-\tau_{cr}/\tau_y}{\sqrt{1+\alpha^2}}$$

$$\frac{V_{sd}}{V_{rd}} \leq 1.0$$

$\tau_{cr} = \begin{cases} \tau_u \\ \sqrt{0.8\tau_u\tau_y} \end{cases}$
 せん断座屈応力度 τ_u : せん断降伏強度
 τ_y : せん断降伏応力度
 $\tau_u = k_s \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \left(\frac{t_w}{b_w}\right)^2$
 弾性せん断座屈応力度 α : ウェブのアスペクト比
 $k_s = \begin{cases} 5.34 + 4.00/\alpha^2 & (\alpha \geq 1) \\ 4.00 + 5.34/\alpha^2 & (\alpha < 1) \end{cases}$
 座屈係数



曲げとせん断の照査

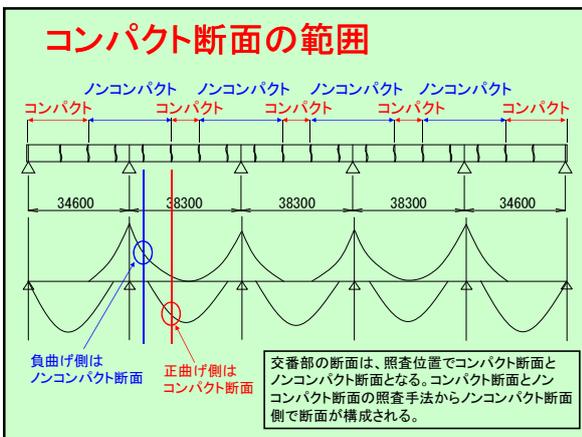
コンパクト断面、ノンコンパクト断面の照査

4乗相関則により照査する。

$$\left\{ \left[\frac{M_{sd}}{M_{rd}} \right]^4 + \left[\frac{V_{sd}}{V_{rd}} \right]^4 \right\} \leq 1$$

M_{sd}, V_{sd} : 応答値(設計断面力)
 M_{rd}, V_{rd} : 制限値(設計部材耐力)

4. 断面構成



コンパクト断面部の断面構成

| | 従来設計 | 限界状態設計 |
|-------|---------|---------|
| U-FLG | 520x29 | 400x29 |
| WEB | 2471x16 | 1471x16 |
| L-FLG | 670x23 | 550x38 |
| 断面積比 | 1.00 | 0.80 |
| 材質 | SM490Y | SM490Y |

下フランジ
 下フランジは塑性中立軸からの距離が大きく全塑性モーメントの寄与率が高い

終局限界状態の照査で断面を決定

ノンコンパクト断面部の断面構成

弾性中立軸
塑性中立軸

2.5m(当初計画)
1.5m
(金谷鋼高梁橋)

| | 従来設計 | 限界状態設計 |
|-------|---------|---------|
| U-FLG | 520x46 | 400x56 |
| WEB | 2454x20 | 1444x19 |
| L-FLG | 670x59 | 550x73 |
| 断面積比 | 1.00 | 0.80 |
| 材質 | SM490Y | SM570 |

ノンコンパクト断面は、降伏させない設計のため許容応力度法と制限値は異なるが、照査方法に大きな相違がない。

桁高を1.5mに低くしたことが大きく影響し、FLG厚のアップや材質がランクアップした。

疲労限界状態の照査

鋼道路橋の疲労設計指針に従って照査

側面図

垂直補剛材下端部溶接仕上げ詳細

正曲げ部
格点及び負曲げ・交番部

疲労等級

E等級
D等級

5. 当初計画との比較

横桁配置の比較

従来設計 中間横桁数:18個

横桁間隔は支点を6m程度、支間中央部を10m以内で配置

限界状態設計 中間横桁数:28個

中間支点上の断面を抑えるため、横桁間隔を支点を3m程度で配置

鋼重および材片数の比較

●鋼重 18%低減

●材片数

水平補剛材:7.2%低減
横桁:5.7%増加

1.5%低減

横桁:41t → 横桁:38t
主桁:264t → 主桁:211t

小型材片:1148 → 小型材片:1130
大型材片:138 → 大型材片:138

従来設計 限界状態設計 従来設計 限界状態設計

※支点上でSM490Y材→SM570材に変更

製作費:12%削減

活荷重たわみの比較

| | 活荷重たわみ (mm) | 許容たわみ (mm) | |
|--------|-------------|------------|--------|
| | | 道示 | AASHTO |
| 従来設計 | 13.4 | 73.3 | 47.8 |
| 限界状態設計 | 37.8 | 73.3 | 47.8 |

従来2主桁橋と比較すると2.8倍程度、活荷重たわみは大きくなるが、「道路橋示方書」「AASHTO」の規定は満足している。

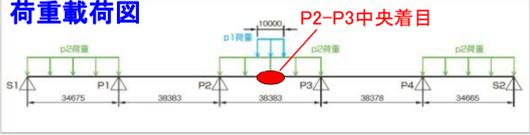
6. 安全性の検証

終局時の安全性の確認

弾塑性ファイバー解析を実施

鋼材が降伏した後や床版にひび割れが生じた後の非線形挙動を把握することで、終局時の安全性や設計照査方法の妥当性を検証した。

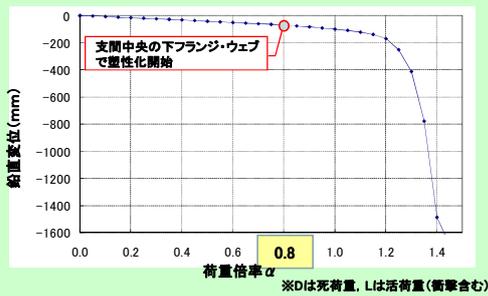
荷重載荷図



照査荷重: $1.3D + 2.0L \times \alpha$ (α は荷重倍率) [α を増加させる]

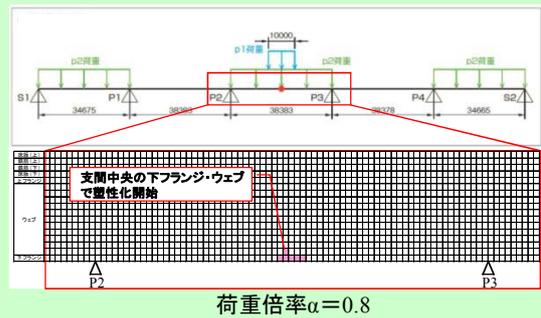
ファイバー解析結果

荷重-変位関係



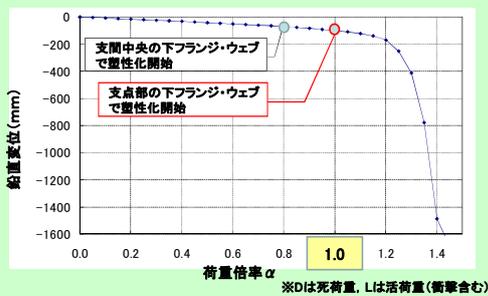
ファイバー解析結果

塑性領域コンター図



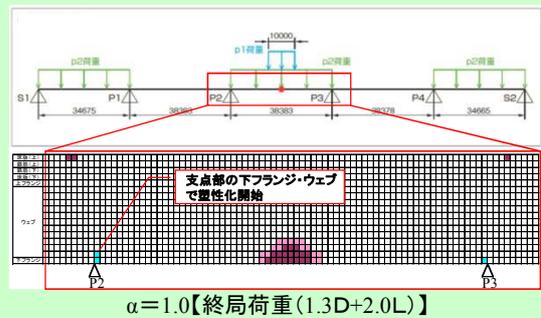
ファイバー解析結果

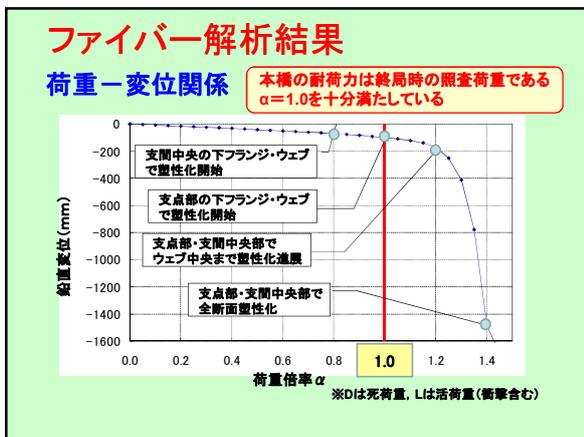
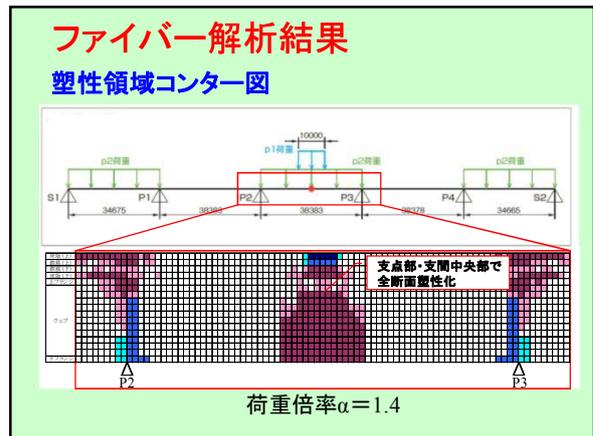
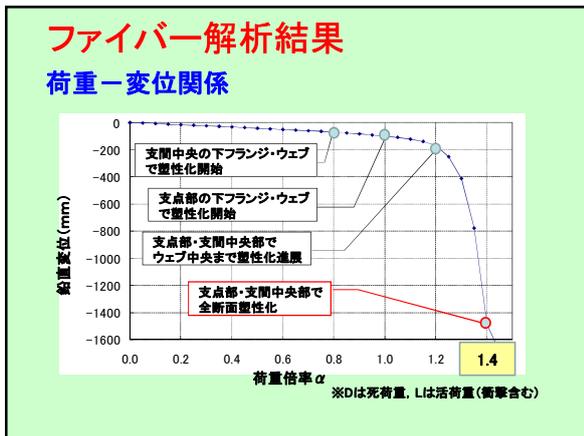
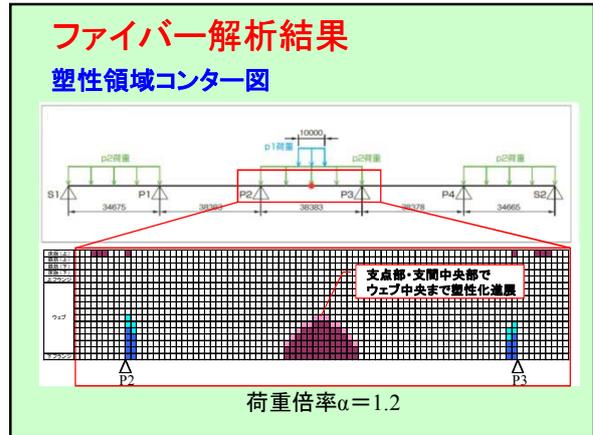
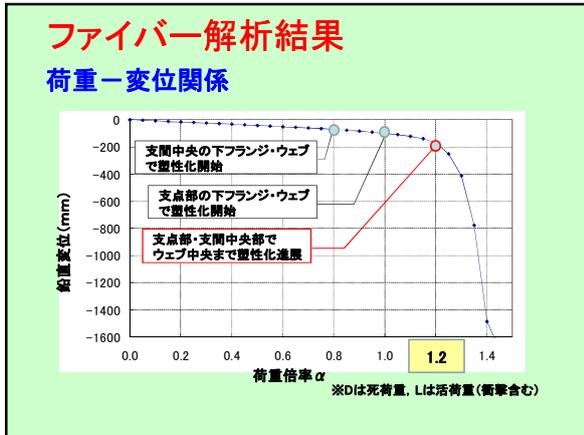
荷重-変位関係



ファイバー解析結果

塑性領域コンター図





振動特性の把握

- 1) 固有値解析
- 2) 常時微動計測
- 3) 車両踏台落下試験
- 4) 起振機による振動試験

固有値解析

200mmの段差
車両踏台落下試験

起振機による振動試験

振動特性の把握

解析・実橋試験結果

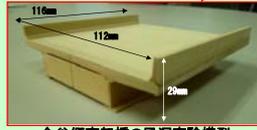
| | 固有振動数 (Hz) | | 減衰定数 (h) | |
|--------------|------------|-------|----------|-------|
| | 鉛直1次 | ねじり1次 | 鉛直1次 | ねじり1次 |
| 1)固有値解析 | 2.32 | 3.25 | - | - |
| 2)常時微動計測 | 2.48 | 3.31 | 0.037 | 0.029 |
| 3)車両踏台落下試験 | 2.53 | 3.32 | 0.054 | 0.013 |
| 4)起振機による振動試験 | 2.42 | 3.25 | 0.045 | 0.016 |
| 5)従来橋(固有値解析) | 3.12 | 3.93 | - | - |

2.32/3.12=0.75→25%小さい

- ・従来とは異なる振動特性を把握
- ・試験結果を基に耐風安定性の照査を実施

耐風安定性の照査

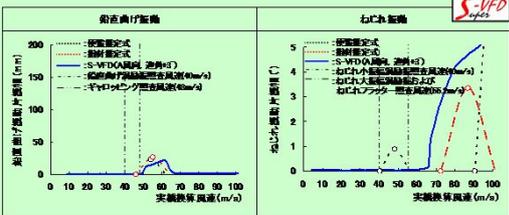
風洞試験:超小型多目的簡易風洞試験(S-VFD)



S-VFDで発生無次元風速の照査を行い、実橋振動試験で得られた結果を反映し、安全性の確認する。

金谷郷高架橋の風洞実験模型

耐風安定性の照査結果



- ・鉛直曲げ渦励振、ねじれ渦励振ともに発生風速は照査風速以上である。
- ・ギャロッピング、ねじれフラッターともに発生風速は照査風速以上である。

7. さいごに

さいごに

新たな設計手法への移行により合理化鋼橋の実現
◆競争力のある鋼橋が実現

今後の課題

- 最適桁高の検討
- 高力ボルト継手の終局時耐力
- 全長をコンパクト断面化(2重合成構造の採用等)

ご清聴ありがとうございました。



一般社団法人 日本橋梁建設協会 Japan Bridge Association