

点検ロボットの活用を考慮した横構のない鋼 I 桁構造及び添架物配置の提案

(一財) 橋梁調査会 フェロー会員 ○吉田 好孝
(国研) 土木研究所 正会員 新田 恭士

(一財) 橋梁調査会 正会員 石井 豊
(国研) 土木研究所 正会員 田中 洋一

1. 検討の背景と目的

昨今、橋梁点検の分野ではアーム型、懸架型など各種の点検ロボットが本格的な実用化を目指して日々研究開発が進められている。中でも飛行型（ドローン型）は移動速度が速く、また人による点検では危険な部位に対して近接することが可能であり、橋梁の定期点検に導入が試みられている。しかし、橋梁構造



a. 飛行型点検ロボット



b. アーム型点検ロボット

写真-1 鋼桁橋を点検するロボット

によっては飛行型点検ロボットをはじめ各種ロボットの近接を阻む要因があり、効率的な画像データの取得に苦慮する状況が見られる。特に我が国における鋼橋の中で最も代表的な構造形式である鋼Ⅰ桁橋（鈑桁橋）における下横構の存在、及び添架物は点検ロボットによる床版や主桁、横桁への近接を著しく阻害している。そのため、点検ロボットの効果的な活用を目指して、下横構のない橋梁構造及び添架物配置の改善を提案する。

2. 横構の効果

鋼 I 桁橋の下横構 (lower lateral bracing) は、対傾構とともに橋に要求される立体的機能を確保するために必要であり、風や地震による横荷重を支承部に円滑に伝達するために設けられる。現行の基準では、支間長 25m 以下で強固な対傾構がある場合は下横構を省略してもよいが、支間長が 25m を超える場合や曲線桁においては横構を省略してはならないとされている (文献-1)。横構の主な役割を以下に示す (文献-2)。

- ①風荷重や地震の影響などの水平荷重を支承に伝達する。
- ②架設時の位置決め材となり、さらに形状保持材となる。
- ③主桁、床版と一体となり準箱桁を形成し、橋全体にねじり剛性を持たせる。

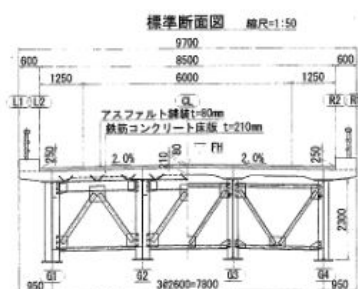


図-1 鋼 I 桁の断面

3. 横構のない鋼 I 桁橋の解析

- ・対象橋梁：支間長 $L=38.05\text{m}$ 、単純合成及び非合成鋼 I 桁橋それぞれの直線橋及び曲線橋に対し、下横構の有無について解析し分析する。
- ・曲線橋の曲線半径は鋼 I 桁橋としてほぼ限界に近い $R=800\text{m}$ とした。
- ・解析モデル：3次元弾性 FEM 解析モデル、鋼部材はシェル要素、床版はソリッド要素である。全体の要素数は直橋モデルで要素数約 68,000、接点数約 81,000、曲線橋モデルで要素数約 123,000、接点数約 147,000 である。要素サイズは最も細かなメッシュに対し実橋サイズで $100\sim 150\text{mm}$ となる。

算出応力度は von Mises 応力

による。

- ・考慮する荷重：死荷重、活荷重（B活荷重）、風荷重、地震の影響、温度変化の影響である。

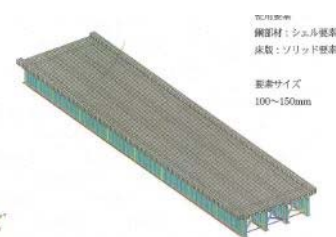
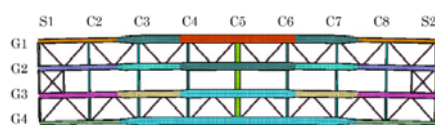
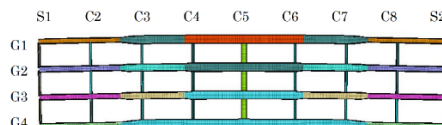


図-2 解析モデル（全体構造）



a. 下横構有り



b. 下横構無し

図-2 解析モデル（床組み）

キーワード 橋梁点検、維持管理、点検ロボット、横構のない構造、鋼I桁橋、添架物

連絡先 〒112-0013 東京都文京区音羽 2-10-2 TEL 03-5940-7794 FAX 03-5940-7789

対象とした桁の断面（4主桁）を図-1に、下横構の有無に関する解析モデルを図-2、図-3に示す。

4. 解析結果

鋼 I 桁橋において下横構がない桁構造の場合、直線橋及び曲線橋共に桁とコンクリート床版が非合成である構造において地震時のみに許容応力度を超過した。直線橋では端対傾構が主桁と接合している箇所に許容応力度の約 1.86 倍

(261N/mm^2) の応力度が、曲線橋では中間対傾構が主桁と接合している箇所に許容応力度の約 1.49 倍 (209N/mm^2) の応力度が認められた (表-1)

5. 橋梁添架物の配置

点検ロボットの活用を阻む橋梁側における要因のもう一つに橋梁添架物の存在がある。この場合の橋梁添架物とは主に通信、電力、水道等の配管であり、公共用のものと橋梁・道路の維持管理用のものがある。これらの配管を桁下面に並べて配置されると、点検ロボットが桁間に侵入できないだけでなく、離れた位置から画像撮影によって桁や床版の状況を把握することさえ困難となる。

このような点検困難状況を避けるため、橋梁添架物は中央付近に配置し、添架物と桁あるいは添架物相互の間に 50cm 以上の離隔を確保することが必要である (図-4)。配管数が多く、必要な離隔が確保できない場合は、配管を複数段にするなどの方策もある。

6. まとめ

(1) 下横構の無い鋼 I 桁橋

1) 標準的な規模の鋼 I 桁橋に対して、下横構の無い場合の各部位の応力度を 3 次元弾性 FEM 解析によって照査した。構造形式は直線橋と曲線橋 ($R=800\text{m}$) で、各々に対し鋼桁とコンクリート床版の合成構造 (活荷重合成) 及び非合成構造を対象とした。解析の結果、直線橋及び曲線橋共に非合成構造の地震時においてのみ、許容応力度を超過すること、及び主桁とコンクリート床版との合成構造は応力度の分散に大きな効果があることが分かった。

2) 許容応力度を超えて発生した最大応力度は直線橋で 261N/mm^2 、曲線橋で 209N/mm^2 であり、許容応力度 ($\sigma_a=140\text{N/mm}^2$) の約 1.9 倍以下に収まっていた。しかも発生領域は対傾構と主桁との接合部の限られた範囲にとどまっているため、局部的に部材厚さを 2 倍程度とすれば容易に対応可能であると考えられる。

(2) 橋梁添架物の配置

点検ロボットの活用を促進するためには、点検ロボットの開発・改良に留まらず、橋梁構造側での改善が必須であり、添架物の配置において 50cm 以上の離隔を確保することが重要である。

謝辞 本研究は、内閣府総合科学技術・イノベーション会議の「SIP インフラ維持管理・更新・マネジメント技術」(管理法人：国土交通省) によるものであり、国土技術政策総合研究所の委託研究として実施したものである。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 道路橋示方書・同解説、Ⅱ 鋼橋・鋼部材編、平 29 年 11 月、日本道路協会
- 2) 合成桁の設計例と解説～道示平成 29 年 11 月版対応～、平 30 年 2 月、日本橋梁建設協会
- 3) 土木構造物標準設計 第 23～28 巻、建設省、昭和 53 年

表-1 3次元弾性 FEM 解析の結果比較

単位: N/mm^2

荷重条件	下横構の有無	直線橋モデル		曲線橋モデル	
		合成	非合成	合成	非合成
常時 (D+L) $\sigma_a=210$	下横構有り	135	179	124	67
	下横構無し	128	179	120	64
地震時 (D+EQ) $\sigma_a=140$	下横構無し	115	<u>261</u>	120	<u>209</u>

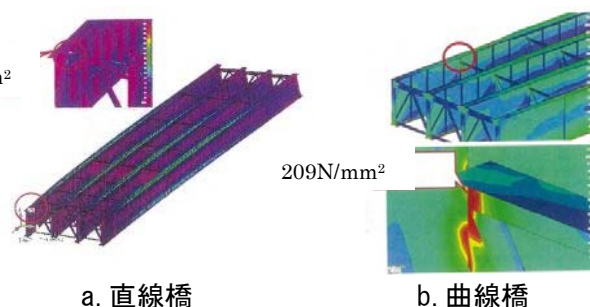


図-3 最大応力度の発生箇所

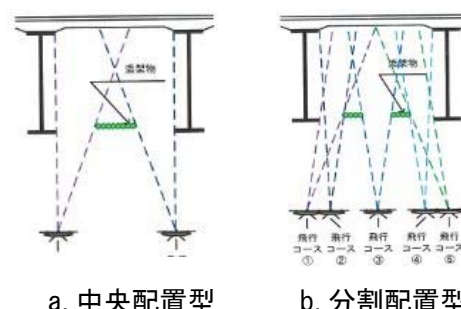


図-4 橋梁添架物配置の改善