

# オープングレーチング床版と鋼製浮体橋台からなる新橋梁形式

## A New Bridge Type Composed of Open Grating Slab and Steel Hollow Abutment

○北原 武嗣\*      山本 啓正\*\*      江口 一成\*\*  
Takeshi KITAHARA   Yoshimasa YAMAMOTO   Kazunari EGUCHI

**ABSTRACT** We propose a new type bridge system with an open grating slab and a steel hollow abutment. Because the open grating slab is lighter than a RC slab and a steel slab, the inertia force acting on the superstructure is able to be reduced. Because the steel hollow abutment is subjected to buoyant force by soil water pressure, the ground reaction is reduced compared with a spread foundation. In order to confirm these mechanisms, 2-d static FEM analyses are carried out. In light of FEM analyses results, the design procedure of the proposed bridge system is studied. Consequently, it is clarified the availability of the proposed bridge system.

**Keywords:** オープングレーチング床版, 鋼製橋台, 死荷重, 地盤反力  
*open grating slab, steel hollow abutment, buoyant force, dead load, ground reaction*

### 1. はじめに

近年, オープングレーチング床版が提案されている. オープングレーチング床版は, 降雪・雨水・日照等が下に抜ける構造となっており, 降雪地域における除雪作業の軽減や, 橋梁下面の緑化, 長大橋の耐風安定性の確保などのメリットが存在する.

また, オープングレーチング床版はコンクリート床版と比べ死荷重を軽減できるため, 下部工への影響も少なくなるというメリットも考えられる.

オープングレーチング床版は, これまでに普段車両が走行しない路肩部などに部分的に採用されている例はあるが, 車両走行部に本格的に採用された例はまだ少なく, 国土交通省北陸地方整備局金沢河川国道事務所で2橋の事例があるのみである. しかし, オープングレーチング床版の普及を目指し, 車両の走行安定性と活荷重載荷時の疲労耐久性について, 土木研究所において検討されている<sup>1)~3)</sup>.

鋼製浮体橋台は, 内部にセルを設け中空な構造とすることで, 地下水の浮力を利用し支持地盤にかかる荷重の軽減を期待するものである. 通常, 軟弱地盤では杭基礎が必要であり, コストがかかるが, 鋼製浮体橋台を採用することで, 杭を省略し経済性の向上を図ることを目的とする.

この際, 上部工をオープングレーチング床版とし, より支持地盤に作用する荷重の軽減を図る橋梁形式を提案する. しかしながら, 提案橋梁形式の設計・施工実績はなく, 上述した内容の確認を行う必要がある. そこで本研究では, 有限要素法により常時の静的解析, 地震時の静的・動的解析を行い, 下部工および地盤に作用する応力と変形性状を把握する. また, 試設計を行い, 有限要素法の結果と比較することで設計法の妥当性を検討する. これらの検討を通して, 提案橋梁形式の成立性を確認する.

\* 博(工) 関東学院大学 工学部 助教授 (〒236-8501 横浜市金沢区六浦東1-50-1)

\*\* プロファ設計(株) 技術部 (〒379-2214 群馬県佐波郡赤堀町大字下触629-1)

## 2. 検討対象と解析モデル

### 2.1 解析対象

解析対象は、**図-1**のような上部工を橋長15m、幅員10.2mのオープングレーチング床版、下部工を高さ8m、奥行10.2m、幅1.5mの鋼製浮体橋台(板厚9mm)とした橋梁である。橋台は、中抜き式橋台形式とすることで背面土圧の軽減をはかる構造となっている。地表から地下3.5mに地下水位があり、それより上の橋台背面部(**図-1①**)は粘着力 $C=0$  kN/m<sup>2</sup>、単位体積重量 $\gamma=19$  kN/m<sup>3</sup>、内部摩擦角 $\phi=30^\circ$ 、N値=15の砂質土、橋台前面部(**図-1②**)は $C=0$  kN/m<sup>2</sup>、 $\gamma=18$  kN/m<sup>3</sup>、 $\phi=25^\circ$ 、N値=15の砂質土、下(**図-1③**)は $C=3$  kN/m<sup>2</sup>、 $\gamma=17$  kN/m<sup>3</sup>、 $\phi=30^\circ$ 、N値=3の粘性土の地盤を想定する。実際の解析対象は3次元だが、奥行方向のひずみは微小と考え、側面側から見た2次元平面問題としてモデル化する。

鋼製浮体橋台が地下水による浮力を受けることを期待して対象構造形式を考えているため、浮力を厳密に評価する必要がある。しかし本報告では、浮力を解析的に取り扱うことが困難なため、地盤の鉛直方向単位体積重量から、水の単位体積重量を減じることで簡易的に考慮している。今後、より詳細に浮力を検討することが重要な課題である。

### 2.2 解析モデル

解析はMSC.visualNastran for Windowsを用いて2次元FEM解析を行う。直交座標系により、**図-2**のような橋台一基と地盤のモデルを作成する。

本モデルは、節点838、要素795からなり、橋台の要素は梁要素、地盤は平面ひずみ要素でモデル化した。橋台および地盤の材料特性を**表-1**に示す。鋼材のせん断弾性係数 $G$ は式(1)より算出する。地盤は $N$ 値から式(2-a)(2-b)を用いて速度 $V_s$ を求め、式(3)より $G$ を算出。この $G$ の値から式(1)を用いてヤング率 $E$ を算出する。

$$G = E / \{2(1 + \nu)\}, \quad \nu : \text{ポアソン比} \quad (1)$$

$$\text{砂質土の場合} \quad V_s = 80.6 \times N^{0.331} \quad (2-a)$$

$$\text{粘性土の場合} \quad V_s = 114 \times N^{0.294} \quad (2-b)$$

$$G = \rho V_s^2, \quad \rho : \text{質量密度} \quad (3)$$

荷重条件は、上載荷重10kN/m<sup>2</sup>が下部工背面地盤にかかり、常時の上部工反力として鉛直力864kNが橋台にかかることを想定する。拘束条件は、全節点をZ方向、X軸回転、Y軸回転の3自由度拘束する。ただし、地盤下端の節点は6自由度完全拘束とする。地震時の解析としては、震度0.2の水平力を静的に載荷するものとした。

また、鋼材および地盤の許容値を、**表-2**に示す。

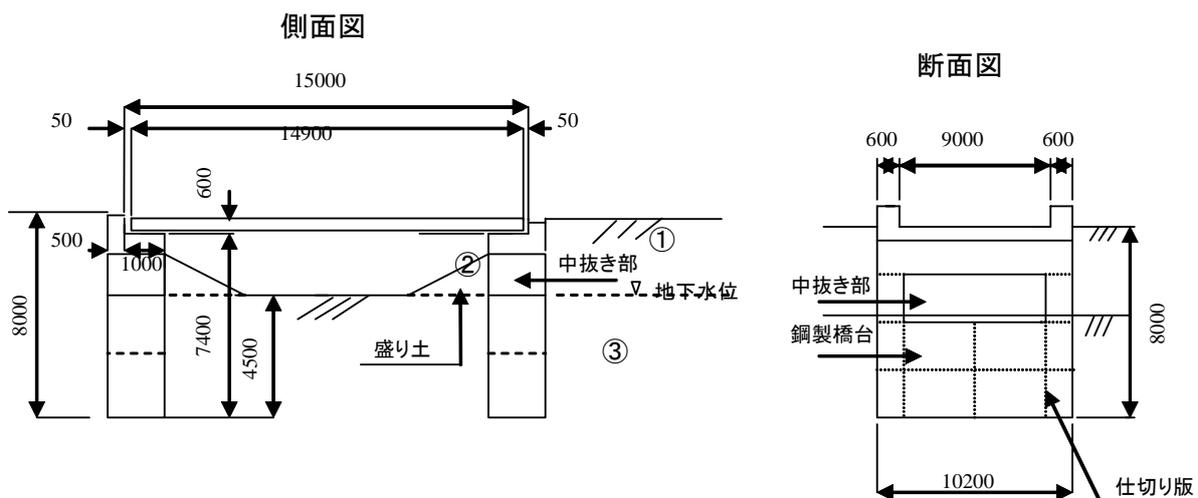


図-1 解析対象

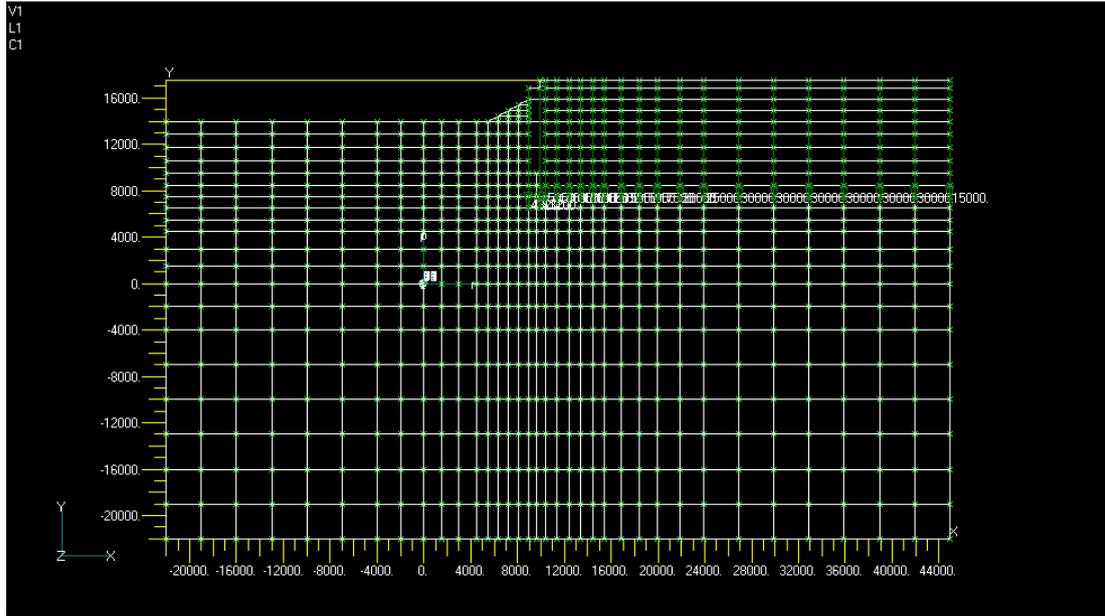


図-2 解析モデル

表-1 材料特性

	橋台	地盤①	地盤②	地盤③
材質	鋼(SS400)	砂質土	砂質土	粘性土
N値	-	15	15	3
$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	7874	1900	1800	720
G (kN/m <sup>2</sup> )	$7.92 \times 10^7$	$7.41 \times 10^4$	$7.02 \times 10^4$	$1.74 \times 10^4$
E (kN/m <sup>2</sup> )	$2.06 \times 10^8$	$2.08 \times 10^5$	$1.97 \times 10^5$	$4.86 \times 10^4$
$\nu$	0.3	0.4	0.4	0.4

### 3. 結果と考察

#### 3.1 常時

常時の静解析の結果として、図-3に地盤の鉛直方向応力のコンター図を、図-4に鋼製橋台（梁要素）の曲げモーメントのコンター図を示す。ただし、図-4においては、地盤部分の曲げモーメントも表示されており、大部分は0を示している。

図-3より、橋台下端の支持地盤に作用する応力の最大値は121.1kN/m<sup>2</sup>であり、地盤の許容支持力163.9kN/m<sup>2</sup>以内である。

図-4より、橋台には最大モーメント $2.53 \times 10^4$ N・mが作用していることが分かる。また図示はしていないが、最大軸力は $1.04 \times 10^6$ N、最大せん断力は $2.28 \times 10^5$ Nとなった。これらの部材力により橋台に働く軸方向応力、せん断応力

を求めると、それぞれ、68.0kN/m<sup>2</sup>、37.3kN/m<sup>2</sup>となる。これらと鋼材の許容応力 $1.4 \times 10^5$ kN/m<sup>2</sup>、せん断許容応力 $8.0 \times 10^4$ kN/m<sup>2</sup>を比較すると、それぞれ許容値以内だとわかる。

また、橋台下端の支持地盤の沈下量は0.83mmであり、許容変位量は1.5cmであるので、許容値以内である。

#### 3.2 地震時静解析

地震時の静解析として、震度0.2の水平力を作用させた場合の結果を示す。図-5に地盤の鉛直方向応力のコンター図を示す。橋台下端の支持地盤に作用する応力の最大値は175.7kN/m<sup>2</sup>であり、地盤の許容支持力は245.9kN/m<sup>2</sup>であるので、許容値以内である。また、橋台下端の支持地盤の沈下量は0.91mm

であり、許容変位量は1.5cmであるので、許容値以内である。

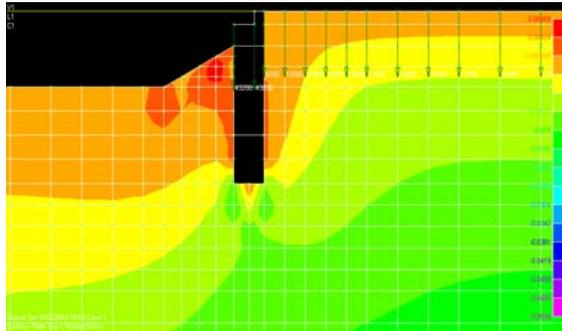


図-3 地盤内鉛直方向応力(常時)

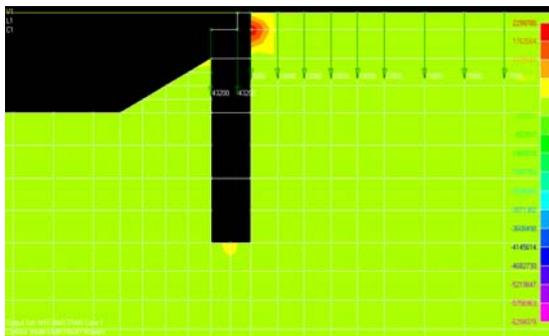


図-4 鋼製橋台曲げモーメント(常時)

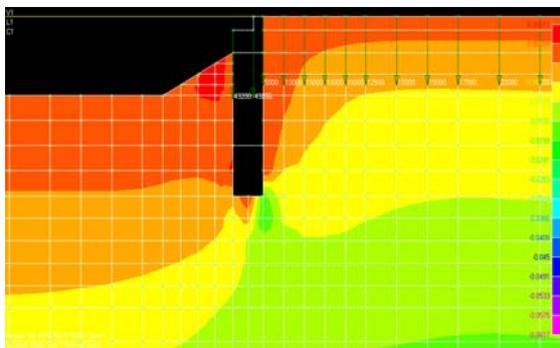


図-5 地盤内鉛直方向応力(地震時)

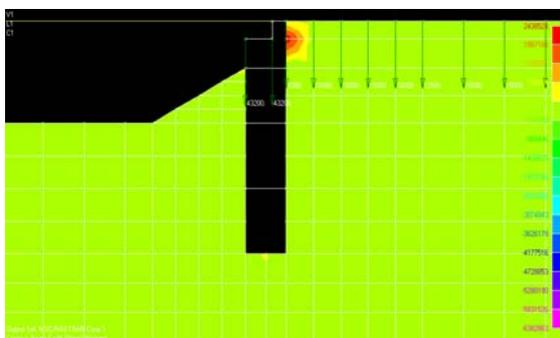


図-6 鋼製橋台曲げモーメント(地震時)

図-6には梁要素の曲げモーメントを示した。

橋台に発生する最大軸方向応力、せん断応力は、それぞれ、95.4kN/m<sup>2</sup>、36.9kN/m<sup>2</sup>となることがわかった。これらは鋼材の許容応力 $2.1 \times 10^5$ kN/m<sup>2</sup>、せん断許容応力 $1.2 \times 10^5$ kN/m<sup>2</sup>以内だとわかる。

#### 4. 試設計

##### 4.1 試設計の方法

ここでは、コンクリート製よう壁に用いる汎用設計ソフトを用いて試設計を行った。この際、地下水位以下にある鋼製橋台は、等価な断面2次モーメントを有する杭基礎に置換して考えることとした。

本報告では、地盤に作用する応力と、地下水位より上部の水平土圧による鋼製橋台の作用応力が主要な検討項目と考えており、地下水位以下の部分を上記のように取り扱っても妥当と判断した。しかし、今後より現実に忠実にモデル化する手法の検討が重要である。

また、地下水位にある鋼製橋台は、中空のセル構造となっているため、地下水による浮力を受けると考え、地下水位以下の地盤の単位体積重量は水の単位体積重量を減じて考えるものとした。これは、FEM解析の際の仮定と同様である。

##### 4.2 試設計結果

表-2に試設計結果と有限要素解析による結果をあわせて示す。

表-2 試設計と有限要素解析結果

	ケース	試設計	有限要素解析
鉛直反力 (kN/m <sup>2</sup> )	常時	233.4	121.1
	地震時	201.6	175.7
鉛直変位 (mm)	常時	0.31	0.83
	地震時	0.12	0.93
水平変位 (mm)	常時	0.67	10.9
	地震時	0.88	1.50
地中部断面力 (N/mm <sup>2</sup> )	常時	5.6	0.00007
	地震時	6.8	0.0001

表-2より、すべての項目において有限要素解析と試設計の結果が許容値を下回っており、

鋼製橋台の安定度、および部材の安全性を確認することができる。また、鉛直および水平変位以外では、試設計値が有限要素解析結果より大きくなっており、安全側の設計となっていると判断できる。

鉛直変位と水平変位の違いは、有限要素解析では、設計上の基盤面より下部までモデル化しており、この部分の変形も考慮されているからと考えられる。変位の評価方法が今後の課題として残る。

さらに今回の検討では、FEM解析、試設計ともに、浮力の影響を十分には取り入れていない。今後、浮力の影響を考慮した3次元解析を行い、より詳細な応力照査をすることが重要である。

### 4.3 コスト試算

同規模の一般的な橋梁形式の比較として、橋長L=15mの直接基礎の橋梁および杭基礎の橋梁を概略比較した一覧表を表-3に示す。

コストの算定に当たっては、文献6)、7)等を参考に算定した。鋼製橋台以外は材料費と施工費を含むコストとして算定している。

また杭基礎に関しては、今回検討した鋼製橋台形式とほぼ同等のコストとなるように考え、杭長30mとした。

表-3より、直接基礎で支持できるような強固な地盤でなく、支持地盤が深く軟弱な地盤の場合、特に、杭長が30mを越えるような地盤条件では、コスト的に有利になる可能性があることが分かる。

表-3 コスト試算

オープングレーチング橋梁の検討		橋長L=15.0m 幅員10.2m (単純橋)																									
		断面図 及び 側面図	特徴 及び 概算工費																								
直接基礎	PC床版	<p>従来設計</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>従来形式の単純橋で、直接基礎で計画した案。</li> <li>施工実績が多く、コンクリート系で維持管理を必要としない。</li> <li>上部工重量が大きく、連続径間の場合に不利である。</li> </ul> <table border="1"> <tr> <th colspan="2">概算工費</th> <th colspan="2">下部工</th> <th>合計</th> </tr> <tr> <td>上部工</td> <td>下部工</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>m<sup>2</sup></td> <td>m<sup>3</sup></td> <td>千円/m<sup>2</sup></td> <td>千円/m<sup>3</sup></td> <td>千円</td> </tr> <tr> <td>153.0 *</td> <td>200 *</td> <td>130 +</td> <td>50</td> <td>= 29,890</td> </tr> </table>	概算工費		下部工		合計	上部工	下部工				m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	千円/m <sup>2</sup>	千円/m <sup>3</sup>	千円	153.0 *	200 *	130 +	50	= 29,890				
	概算工費		下部工		合計																						
上部工	下部工																										
m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	千円/m <sup>2</sup>	千円/m <sup>3</sup>	千円																							
153.0 *	200 *	130 +	50	= 29,890																							
グレーチング床版	<p>上部工を軽量なオープングレーチング床版</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>上部工をオープングレーチングにした単純橋で、直接基礎で計画した案。</li> <li>施工実績は少なく、国土交通省金沢工事で2橋の事例がある。(単純橋)</li> <li>上部工重量が軽く、下部工への影響が小さいが、橋台は土圧が支配的で連続形式の場合で有利である。</li> <li>鋼材は、亜鉛めっきを施すが、一部、維持管理を必要とする。</li> </ul> <table border="1"> <tr> <th colspan="2">概算工費</th> <th colspan="2">下部工</th> <th>合計</th> </tr> <tr> <td>重量(t)</td> <td>m<sup>3</sup></td> <td>千円/t</td> <td>千円/m<sup>3</sup></td> <td>千円</td> </tr> <tr> <td>30.6 *</td> <td>200 *</td> <td>1200 +</td> <td>50</td> <td>= 46,720</td> </tr> </table>	概算工費		下部工		合計	重量(t)	m <sup>3</sup>	千円/t	千円/m <sup>3</sup>	千円	30.6 *	200 *	1200 +	50	= 46,720										
概算工費		下部工		合計																							
重量(t)	m <sup>3</sup>	千円/t	千円/m <sup>3</sup>	千円																							
30.6 *	200 *	1200 +	50	= 46,720																							
杭基礎	PC床版	<p>杭長は30mを想定 本数は1基10本 (鋼管杭を想定)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>従来形式の単純橋で、杭基礎で計画した案。</li> <li>施工実績が多く、コンクリート系で維持管理を必要としない。</li> <li>上部工重量が大きく、連続径間の場合に不利である。</li> </ul> <table border="1"> <tr> <th colspan="2">概算工費</th> <th colspan="2">下部工</th> <th>基礎</th> <th>合計</th> </tr> <tr> <td>上部工</td> <td>下部工</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>m<sup>2</sup></td> <td>m<sup>3</sup></td> <td>千円/m<sup>2</sup></td> <td>千円/m<sup>3</sup></td> <td>m</td> <td>千円/m</td> </tr> <tr> <td>153.0 *</td> <td>200 *</td> <td>130 +</td> <td>50 +</td> <td>800 * 30</td> <td>= 53,890</td> </tr> </table>	概算工費		下部工		基礎	合計	上部工	下部工					m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	千円/m <sup>2</sup>	千円/m <sup>3</sup>	m	千円/m	153.0 *	200 *	130 +	50 +	800 * 30	= 53,890
	概算工費		下部工		基礎	合計																					
上部工	下部工																										
m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	千円/m <sup>2</sup>	千円/m <sup>3</sup>	m	千円/m																						
153.0 *	200 *	130 +	50 +	800 * 30	= 53,890																						
浮体式橋台	<p>橋台は、鋼製で、各セルを設けて浮力で支え、滑動は前面抵抗を考慮と中抜き式橋台形式で背面土圧を軽減。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>上部工をオープングレーチングにした単純橋で、浮体基礎で計画した案。</li> <li>施工実績は少なく、浮体の設計手法の確立が必要。</li> <li>上部工重量が軽く、下部工への影響が小さいが、橋台は土圧が支配的で連続形式の場合で有利で、また、深い基礎を必要とする土質に有利。</li> <li>鋼材は、亜鉛めっきを施すが、一部、維持管理を必要とする。</li> </ul> <table border="1"> <tr> <th colspan="2">概算工費</th> <th colspan="2">下部工</th> <th>合計</th> </tr> <tr> <td>重量(t)</td> <td>重量(t)</td> <td>千円/t</td> <td>千円/t</td> <td>千円</td> </tr> <tr> <td>30.6 *</td> <td>28 *</td> <td>1200 +</td> <td>600</td> <td>= 53,520</td> </tr> </table>	概算工費		下部工		合計	重量(t)	重量(t)	千円/t	千円/t	千円	30.6 *	28 *	1200 +	600	= 53,520										
概算工費		下部工		合計																							
重量(t)	重量(t)	千円/t	千円/t	千円																							
30.6 *	28 *	1200 +	600	= 53,520																							

ただし、本検討では鋼製橋台の施工法については具体的に検討しておらず、施工方法によってはコスト試算結果に変動のある可能性が残されている。現状では、地中連続壁と同様の施工法を考えているが、より具体的な検討が重要である。

## 5. 結論

オープングレーチング床版と鋼製浮体橋台からなる新橋梁形式を対象とし、有限要素解析と試設計により、その成立性を検討した。得られた結論は以下の通りである。

- (1) 常時、地震時ともに支持地盤に生じる応力、鋼製橋台に生じる応力は許容値以内に収まり、安全性を確認した。
- (2) 鋼製橋台下部の支持地盤沈下量は0.9mm程度となり許容値以内となった。
- (3) 提案橋梁の試設計を行い、有限要素法結果とよい対応を示すことを確認し、変位以外は安全側の設計となることを確認した。
- (4) 以上より、提案橋梁形式の成立可能性があることを示すことができた。

今後、縮小モデルによる実験的検討や浮力を考慮した詳細な解析により、成立性をより具体的に検討すること、また、施工方法に関する検討を加え、より現実的なコスト試算を行うことが今後の課題である。

## 【謝辞】

本研究を実施するにあたり、平成15年度群馬県産学官連携推進補助事業の補助金を受けた。また、有限要素解析は群馬工業高等専門学校専攻科1年生（当時、同環境都市工学科5年生）の樺沢祐樹君の協力を得た。ここに記して謝意を表す。

## 【参考文献】

- 1) 村越潤，高橋実，徳橋亮治，鈴木周一，貴志友基：走行荷重に対するオープングレーチング床版の疲労耐久性に関する一検討，構造工学論文集，Vol.49A，pp.857-866，2003.
- 2) 高橋実，平原伸幸，森山彰，中洲啓太，鈴木周一，貴志友基：オープングレーチング床版の移動輪荷重走行試験，第57回年次学術講演会概要集，CD-ROM，2002.
- 3) 中野清人，高橋実，貴志友基，鈴木周一：オープングレーチング床版上を走行する大型車の走行安全性に関する検討，第57回年次学術講演会概要集，CD-ROM，2002.
- 4) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋編，2002.
- 5) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅳ下部構造編，2002.
- 6) 国土交通省大臣官房技術調査課：国土交通省土木工事積算基準 平成16年度版，建設物価調査会，2004.
- 7) (社)日本橋梁建設協会：デザインデータブック，2001.