

## ◆ 報文 ◆

# オープニングレーチング床版橋の技術研究開発の動向

常田賢一\* 森山 彰\*\* 池原圭一\*\*\*

## はじめに

我が国の国土管理を実現するための基本である道路では、平成11年5月のしまなみ海道の開通による本州四国連絡橋の完成等、そのネットワーク機能の強化が図られつつある。明石海峡大橋等の完成には長大橋の建設技術に関する研究開発成果が大きく貢献しており、長大橋の完成は我が国が技術立国を標榜する絶好の機会となっている。

来る21世紀では地域の連携・交流の一層の促進が期待されており、その実現方策の一つとして東京湾口、伊勢湾口等における海峡横断道路による新しい交通軸の形成があるが、それらの道路は本州四国連絡橋よりも厳しい自然条件下にあるために、超長大橋の建設技術等に関して新たな技術研究開発が必要とされている。

その新しい技術の一つとして、超長大橋の上部構造の耐風安定性の確保、軽量化を図るために構造として、走行面を鋼製の格子とした「オープニングレーチング床版」が考えられている。海外ではこのオープニングレーチング床版を車道部で使用している実績があるが、我が国では路側部に適用されるに止まっており、本格的な車道部への導入に際しては安全性、耐久性等に関する研究開発が必要である。また、超長大橋の技術として考えられている当該技術は一般の橋梁、災害時に使用される応急組立橋あるいは工事中の仮設道路等、応用分野も広く、それらの適用性の検討も意義が高いと考えられる。

このため、土木研究所はオープニングレーチング床版の実用化に向けた研究開発に取り組んでいるが、本文ではオープニングレーチング床版橋の研究開発の方向性を明確にするために、オープニングレーチングの導入および研究開発の経緯を整理するとともに、今後の技術課題および土木研究所の取り組みの状況を報告する。

## 1. オープニングレーチングの導入経緯

### 1.1 日本における導入経緯

筆者らの既往文献の調査等によると、オープニングレーチング床版の導入経緯は図-1として整理できる。同図によれば、わが国では約40年前の1962年に竣工した若戸大橋において導入されたのが最初であり、その後も関門橋や明石海峡大橋を始めとする本州四国連絡橋の主要な長大橋に導入されてきている。これらの長大橋では、写真-1の関門橋あるいは写真-3の明石海峡大橋の例に示すように、車両の走行に直接は関係しない路側部や中央分離帯といった箇所に適用されており、耐風安定性の確保を主目的としていた。そのため、路面の構造は写真-2及び写真-4に示すように、縦横に配した主部材及び横部材により構成さ



写真-1 関門橋(橋面の全景：中央分離帯と路側にオープニングレーチングが設置)

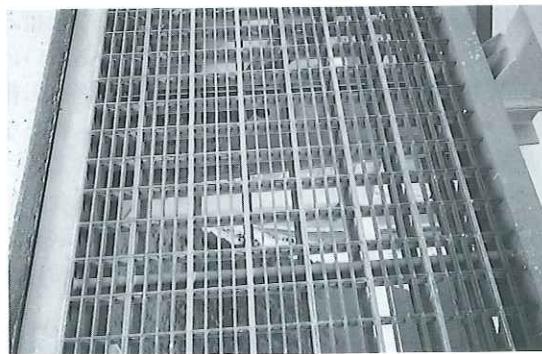


写真-2 関門橋(オープニングレーチング部)

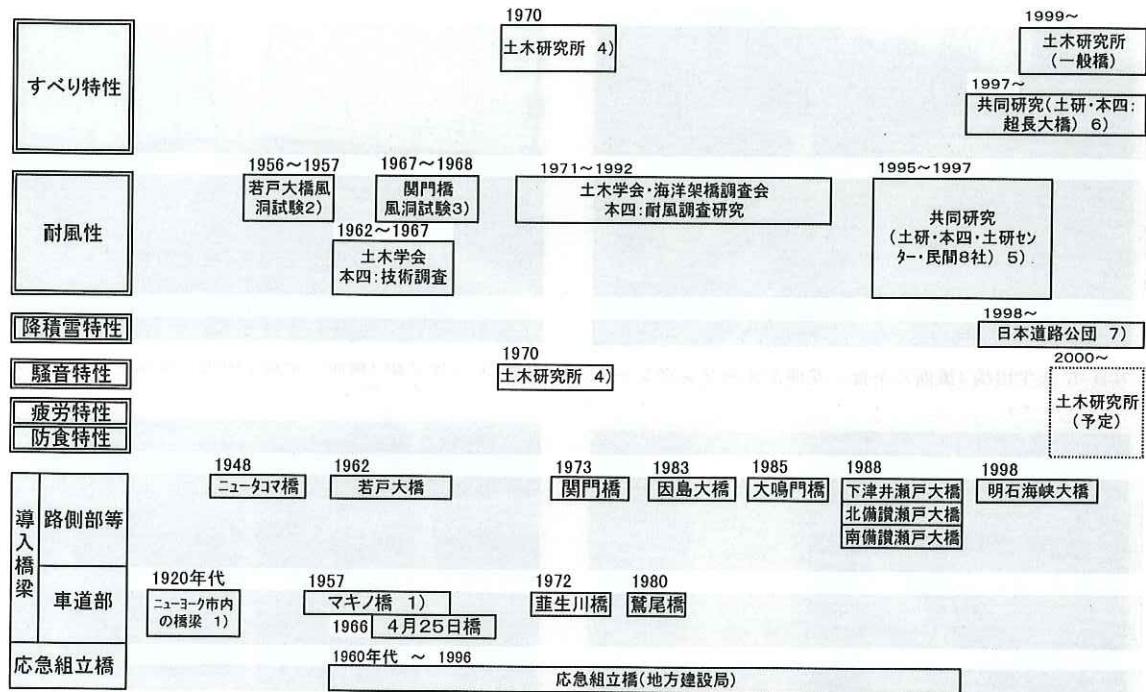


図-1 オープンデッキ床版に関する技術研究開発及び導入の変遷



写真-3 明石海峡大橋 (橋面の全景: 中央分離帯と路側にオープンデッキ床版が設置)

写真-4 明石海峡大橋 (オープンデッキ床版部)  
れる簡単な構造であり、車両の走行性について詳細な検討はされていなかった。

これに対して、車道部への導入実績としては、高知県物部村の長瀬ダムにおける垂生川橋(吊橋: 橋長 111.7m、幅員 4.0m、1955 年完成、1972 年木床からオープンデッキ床版へ取替、1995 年更新)、山梨県早川町の鷺尾橋(トラス橋: 橋長 80m、幅員 4.0m、1960 年完成、1980 年木床からオープンデッキ床版へ取替)等の山間部の小規模な橋梁があるだけである。垂生川橋では死荷重の低減を主目的として、写真-5 のように車両の走行部にオープンデッキ床版を用いているが、1995 年の更新の際に歩道部分には縞鋼板を取り付けている。

また、災害時において緊急的に道路の交通機能を復旧するために仮設される応急組立橋では、その使用時間が短期間であることあるいは復旧作業の迅速化等を考慮して、1960 年代からオープンデッキ床版が採用されているが、基本的な構造は関門橋や明石海峡大橋とはほぼ同じである。

### 1.2 海外における導入経緯<sup>1)</sup>

海外では長大吊橋をはじめ都市内的一般橋でオープンデッキ床版を車道部に適用しており、ニューヨーク市内の橋梁(表-1)や 43 年前に竣工したマキノ橋等に導入されている。マキノ橋では写真-7 のように、上下 4 車線の内、中央の二車線がオープンデッキ床版であるのに



写真-5 萩生川橋 (橋面の全景：左側がオープニングレーティング)



写真-7 マキノ橋 (橋面の全景：中央二車線がオープニングレーティング)

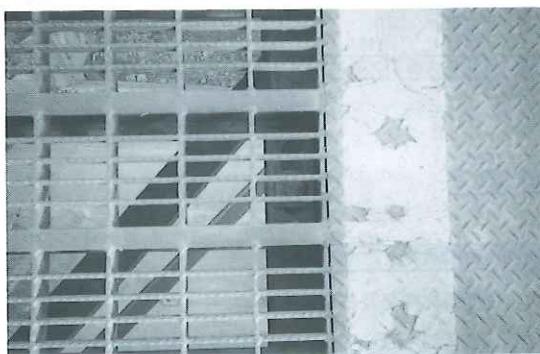


写真-6 萩生川橋 (オープニングレーティング部：左側は車道部、右側は歩道部)

対して、両側の二車線は通常のアスファルト舗装である。また、オープニングレーティングの構造は写真-8の通りであるが、明石海峡大橋の路側部と異なり、幅広の主部材は配置されていない、全部材に高さ5mmの凹凸(ノッチ)が加工されている。

これらの橋梁の内、一般橋では可動橋(跳ね橋)であることから死荷重の低減及び跳ね上げ時の風荷重の低減を、一方、長大吊橋では死荷重の低減や耐風安定性の向上を目的としている。

表-1に主要な橋梁の概要を示すが、オープニングレーティングの構造は、①格子タイプ、②波形リベットタイプ(主部材とそれを連結する波形の補助部材を配置した構造)、③4方向タイプ(①格子タイプに斜材を追加した構造)に分類される。表面にはすべり摩擦抵抗を高めるために、①と③には凹凸(ノッチ)の加工が施されており、②には小さな鉢のような突起を取り付けた例がある。走行性に関して大きな問題は生じていないが、ニューヨークやシカゴの市内橋では濡れた時にすべりやすいとの指摘や、二輪車の走行性向上に関する要望があるようである。

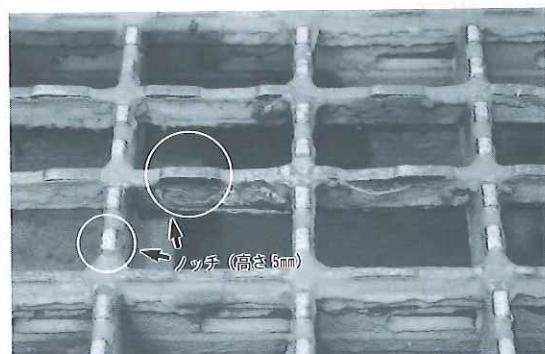


写真-8 マキノ橋 (オープニングレーティング部)

オープニングレーティングの防食は写真-8のように塗装によるものが主であり定期的に塗り替えを行っているが、最近は亜鉛めっきを施したタイプに変更している例が多い。冬期の路面凍結防止のために撒く塩による腐食を防ぐ目的で春先に水洗いを行っている例もある。オープニングレーティングの受桁への固定方法は現場溶接による例が多いが、ニューヨークやシカゴの市内橋では溶接部に疲労亀裂が生じたためにボルトに変更している例がある。

さらに、4月25日橋ではオープニングレーティング上の大型車の走行を禁止したり、マキノ橋では大型車の速度規制を行うなどの交通管理が実施されている。

## 2. オープニングレーティングの特徴

前章の導入事例によれば、橋梁にオープニングレーティング床版を用いることにより、以下の利点が期待されている。

- ①耐風安定性の向上
- ②上部構造の軽量化
- ③建設コストの縮減

表-1 オープングレーチングの導入状況(文献1)を参考に作成

	4月25日橋	マキノ橋	ニューヨーク市内橋 <sup>注1)</sup>	シカゴ市内橋 <sup>注2)</sup>
所在地(国名)	リスボン(ポルトガル)	ミシガン(アメリカ)	ニューヨーク(アメリカ)	シカゴ(アメリカ)
支間長(幅員)(m)	483+1,013+483(21.9) <sup>注3)</sup>	549+1,158+549(16.5)	—	注2)
完成年	1966年	1957年	1920年代～	1920年代 (グレーチングは1960年頃～)
構造と表面形状	格子タイプ/凹凸付き	格子タイプ/凹凸付き	格子タイプ/凹凸付き 波形タイプ/突起付き	波形タイプ/突起なし 4方向タイプ/凹凸付き
表面処理	塗装、新設は亜鉛メッキ	塗装	塗装を亜鉛めっきに変更	無対策を亜鉛めっきに変更
固定方法	現場溶接	現場溶接	現場溶接をボルトに変更	現場溶接をボルトに変更
交通量	約137千台/日	約13千台/日	約30～50千台/日	約6～33千台/日
交通管理	速度制限 60km/h 大型車グレーチング上走行禁止	速度制限: 大型車 32km/h 小型車 72km/h 車両制限はなし	速度制限は橋により異なる 車両制限はない	速度制限は橋により異なる 約30～50km/h 車両制限はない
補修履歴	補修なし、再塗装	補修なし、再塗装	損傷部の取替、鉄板敷設	損傷部の取替、鉄板敷設

注1) Willis Avenue 橋、Third Avenue 橋、Roosevelt Island 橋の3橋(全体で25橋がオープングレーチングを採用、可動橋)

注2) Roosevelt Road 橋(L=61.6m/W=27.4m)、Adams Street 橋(L=61.3m/W=19.5m)、LaSalle Street 橋(L=87.2m/W=26.2m)の3橋(全体で約25橋程度がオープングレーチングを採用、可動橋)

注3) 1998年に改築、拡幅により6車線化

#### ④施工の迅速性

#### ⑤補修の容易性

さらに、渡河橋あるいは都市内の高架橋等の一般橋梁を想定すると、以下の利点も期待できる。

#### ⑥排雪・凍結防止

#### ⑦桁下への日照・雨水の供給による緑化

一方では、従来の舗装構造と異なる鋼製の格子構造であるために、車両の走行路面に適用するためには、以下の点が未解明あるいは新たな課題として考えられる。

#### ①すべりに対する安全性

#### ②疲労耐久性及び防食性

#### ③騒音の発生特性

#### ④桁下への落下物

### 3. 研究開発の課題

オープングレーチングの特徴に基づくと、今後我が国においてオープングレーチング床版橋を導入するために必要な研究開発課題は表-2として整理できる。ここで、オープングレーチングを導入する橋梁の建設位置により対象となる課題は異なるので、超長大橋及び一般橋梁、さらに一般橋梁は渡河橋と都市内等の高架橋に区分して整理した。

同表の通り、技術的な課題は、安全性、耐久性、対環境性および施工・管理の四つに大別できるが、その主旨は以下の通りである。

1) 安全性: 鋼製路面におけるすべりに対する走行安全性および格子構造による耐風安定性が主要課題であるが、積雪寒冷地では降積雪の排雪性に関する検討が必要である。

表-2 オープングレーチング床版橋の研究開発課題

課題	超長大橋	一般橋梁	
		渡河橋	高架橋
1. 安全性	1) すべり特性	◎	◎
	2) 耐風性	◎	○
	3) 降積雪特性	◎	◎
2. 耐久性	1) 疲労特性	◎	○
	2) 防食性	◎	○
3. 対環境性	1) 騒音特性	—	○
	2) 施工性	○	○
4. 施工・管理	2) 維持管理	◎	○
	3) 桁下落下物	○	○
			○

(凡例) ◎: 関係が深い、○: 関係がある、—: 無関係

なお、四輪の自動車と二輪車(自転車含む)では、すべりに対する安全性への影響度合が異なるので、各々に対する検討が必要である。

- 耐久性: 複雑な格子状の鋼製構造の疲労に対する耐久性、格子構造および主構構造に対する降雨等の気象条件の暴露に対する防食性の検討が必要である。
- 対環境性: 鋼製の格子状路面、格子構造と受桁との合成構造による騒音特性の検討が必要である。
- 施工・管理: 格子構造と受桁の合成構造に起因する施工性および維持管理の難易性、格子状の走行路面から桁下への落下物に対する措置、速度規制等の交通運用が考えられる。

### 4. 研究の経緯と今後の取り組み

#### 4.1 既往研究の経緯

我が国のオープングレーチングに関する調査研

究の経緯をそれらに係わる文献から整理すると図-1のように概観できる。同図に示すように、発端は1956年以降の若戸大橋や関門橋の耐風安定性に関する風洞試験等の調査研究<sup>2),3)</sup>である。また、本州四国連絡橋については1962年以降1992年にかけて、まず(社)土木学会が、後に(財)海洋架橋調査会に本州四国連絡橋公団が委託して、耐風安定性の観点から技術調査が実施され、明石海峡大橋等の路側部に導入された。

一方、市原ら<sup>4)</sup>は1970年当時に開床式鋼格子床版のすべり摩擦特性及び騒音特性に関する実験を実施しているが、鋼格子床版の縦すべり摩擦係数はコンクリート舗装のそれを上回るのに対して、横すべり摩擦係数は特に湿潤時において小さくなる結果を得ており、部材の間隔等について検討の必要があるとしている。

これらの調査研究を継承するものとして、オープングレーティング床版が将来の海峡横断道路における建設コスト縮減のための主要技術であるとの認識から、車道部にオープングレーティングを導入した場合の超長大橋の耐風安定性に関して1995年度(平成7年度)から土木研究所、本州四国連絡橋公団、(財)土木研究センターおよび民間8社による共同研究等の調査研究<sup>5)</sup>が実施されている。

また、すべり摩擦特性に関しては1997年度(平成9年度)から土木研究所と本州四国連絡橋公団は共同研究を開始しており、基礎的な走行実験を実施している<sup>6)</sup>。同実験では、図-2のように明石海峡大橋等で使用されている主部材及び横部材から構成される従来型の格子構造に加えて、主部材を用いずに縦部材と横部材を、正方形のみの形状、正方形と斜材を組合せた形状あるいは斜材のみの形状といった様々な形状を用いるとともに、部材に様々な凹凸を配した構造について、すべり摩擦係数の調査を実施している。

さらに、降積雪特性に関して、日本道路公団では1999年(平成11年1月)に工事用仮橋を利用して、オープングレーティングの除雪機能に関する調査を実施しており、積雪量30cmの状態における

乗用車走行による除雪性等が確認されている<sup>7)</sup>。

#### 4.2 今後の取り組みの方向

今後のオープングレーティング床版に関する技術の位置づけは、将来の海峡横断道路プロジェクトにおける超長大橋を実現する技術の一つであること及びこれらの超長大橋以外の分野においてもその特性を活用する技術であるとの両面が考えられる。ここで、後者については必然的に超長大橋の先駆けの意義も併せ持つことになる。

前述の通り、超長大橋におけるオープングレーティング床版の耐風安定性あるいはすべり摩擦特性については調査研究が開始されているが、2000年度(平成12年度)以降において、疲労耐久性及び防食性を含めた幅広い調査研究が実施されることになる。一方、一般橋梁については前述の降積雪特性に関する調査研究のように、ごく最近取り組まれ始めたばかりであるが、騒音特性といったように、超長大橋では問題にならないと想定される課題が一般橋梁では大きな課題として考えられることもあり、超長大橋と同様に今後の技術的検討が必要とされている。

このため、土木研究所では超長大橋に適用される新技術を一般橋梁に応用する視点から、1999年度(平成11年度)から一般橋梁での導入に必要な技術的課題に関する研究開発を開始した。そして、新道路技術五箇年計画(平成10~14年度)内において、一般橋梁における実証試験の実施を当面の目的として、表-3の構成員から成る「オープングレーティング床版橋に関する研究グループ」を設置し、横断的な取り組みを図っている。

#### 4.3 実証試験

我が国では一般橋梁の車道部におけるオープングレーティングの導入実績は皆無とも言えること、また現時点においては表-2に示した技術的な課題が全て解決されている訳ではないことを鑑みて、実証試験の実施箇所については現時点までに得られた知見に基づいて技術的な対応が可能な範囲で選定することとした。

そのため、当該実証試験では主としてすべり摩擦の安定性に着目したオープングレーティングの構造とした。また、現時点では技術的な検証がされていない疲労耐久性及び既存技術の蓄積がある防食性については、それぞれ現時点で設定できる望ましい構造あるいは処理方法を採用することとし、

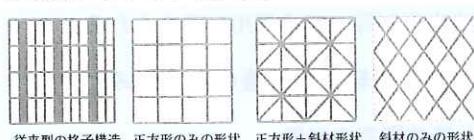


図-2 オープングレーティングの格子形状の例

表-3 土木研究所の研究グループ

担当	課題	検証対象
道路研究室	1) すべり特性	走行面の構造
	2) 降積雪特性	走行面の構造
構造研究室	耐風性	走行面・受桁の構造
橋梁研究室	疲労性	走行面・受桁の構造
化学研究室	防食性	1) 走行面・受桁の塗装 2) 受桁の構造
交通環境研究室	騒音特性	走行面・受桁の構造
共通	1) 施工性	走行面・受桁の構造
	2) 維持管理	走行面・受桁の構造・塗装
	3) 交通運用	設計速度・適用車種等

現地での追跡調査でそれらの適用性を検証することにした。さらに、長大橋で問題となる耐風性及び現時点では技術的な検証がされていない騒音特性については、これらの課題が問題とならない箇所を選定することとした。

その結果、実証試験の実施箇所としては、降積雪特性が検証できる積雪寒冷地域にあって、騒音が問題とならない比較的郊外の渡河橋であるとともに、交通量が比較的少なく、疲労の影響が少ない側道橋を考えている。

なお、実証試験については、別の機会に報告する予定である。

### あとがき

我が国において道路橋の車道部にオープングレーチング床版を本格的に導入するためには、解決すべき技術的な課題も多いが、オープングレーチング床版の利用範囲は広いので、実用化に向けた研究開発の推進が必要である。

現在、土木研究所においては四輪車による実車走行が可能な幅員規模および延長のオープングレーチングを用いた走行実験や二輪車の走行実験

を実施しているが、その結果については別の機会に報告する予定である。

なお、四国地方建設局土佐国道工事事務所及び高知県土木部道路課には垂生川橋の現地調査の協力、また新日本製鐵(株)には鷲尾橋に関する資料提供、日本道路公団下関管理事務所には写真-1,2の提供、本州四国連絡橋公団長大橋技術センターには写真-3,4の提供をして頂きました。ここに、紙面を借りてお礼申し上げます。

### 参考文献

- (財) 海洋架橋調査会: オープングレーチング床版を用いた長大吊橋に関する調査報告書, 平成10年3月
- 日本道路公团福岡支社: 若戸橋調査報告書, 昭和38年10月
- 日本道路公团福岡管理局: 関門橋工事報告書, 昭和52年3月
- 市原薰、金泉昭: 開床式鋼格子床版の走行性, 土木技術資料, Vol.12, No.6, 1970年6月
- 佐藤弘史、北川信、小林茂敏他: 耐風性および経済性に優れた超長大橋の開発に関する共同研究報告書(その1)・(その2)・(その3), 第153号・第187号・第213号, 1996年3月・1997年3月・1998年3月
- 濱田俊一、池原圭一、萩原勝也、杉町直明: オープングレーチングのすべりに関する実験的研究, 土木学会第54回年次学術講演会(I-A), pp.582-583, 1999年9月
- 草野誠一、齋藤正司、広沢正雄、杉井謙一、仲岡重治: 除雪作業の不要なオープングレーチング橋梁, 土木学会第54回年次学術講演会(I-A), pp.676-677, 1999年9月

常田賢一\*



建設省土木研究所道路部  
道路交通総括研究官  
Ken-ichi TOKIDA

森山 彰\*\*



同企画部橋梁計画官  
Akira MORIYAMA

池原圭一\*\*\*



同道路部道路研究室研究員  
Keiichi IKEHARA