



Delft University of Technology

## 高いスレンダーネスを有する革新的なコンクリート桁の研究 ―オランダの高速通路高架橋の更新―

Reitsema, Albert; Lukovic, Mladena; Hordijk, Dick

### Publication date

2020

### Document Version

Final published version

### Published in

橋梁と基礎 (Bridge and Foundation)

### Citation (APA)

Reitsema, A., Lukovic, M., & Hordijk, D. (2020). 高いスレンダーネスを有する革新的なコンクリート桁の研究 ―オランダの高速通路高架橋の更新―. *橋梁と基礎 (Bridge and Foundation)*, 54(5), 57-60.  
<https://www.fujisan.co.jp/product/546/new/>

### Important note

To cite this publication, please use the final published version (if applicable).  
Please check the document version above.

### Copyright

Other than for strictly personal use, it is not permitted to download, forward or distribute the text or part of it, without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), unless the work is under an open content license such as Creative Commons.

### Takedown policy

Please contact us and provide details if you believe this document breaches copyrights.  
We will remove access to the work immediately and investigate your claim.



# 橋

## Bridge and Foundation Engineering

### 梁と基礎

特集 横浜北西線

2020  
Vol.54

5

Cover Photo : YOKOHAMA NORTHWEST LINE (KANAGAWA)



## 高いスレンダーネスを有する革新的なコンクリート桁の研究 — オランダの高速道路高架橋の更新 —

### はじめに

現在、オランダは欧州で最も高速道路が密集している国で、その合計は5 075 kmとなる(図-1)。オランダの道路網は1960年代から1980年代にかけて大規模に発展し、現存の橋の約50%がこの時期に建設された(図-2)。橋の多くは耐用年数50年で設計されていたことから、近い将来に大規模な更新事業に直面する。世界中の多くの国もまた同様である。

橋の更新に際して、コンクリート構造の場合、従来と同じ構造、同じコンクリートの性能とする必要があるのだろうか。本稿では、デルフト工科大学で実施されているいくつかの探索的研究を紹介したい。この研究では高度なセメント材料を用いることで得られるスレンダーなコンクリート構造に焦点を当て、さらに新しい建設方法が検討されている。

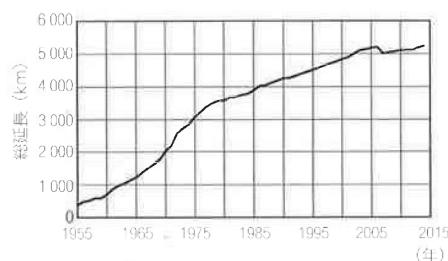


図-1 オランダ主要道路の延長の変遷

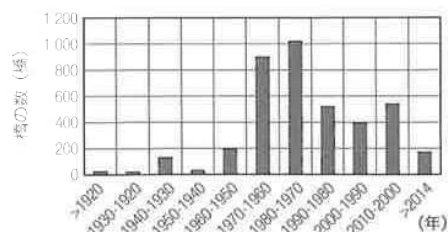


図-2 建設された橋の数の変遷

### 1. 将来の更新事業

現存の橋は主に現場打ちの鉄筋コンクリート橋で建設され、プレキャストコンクリートの使用が増加する前は最も主要な構造であった。そのほとんどが3~4径間で建設され(図-3)、3径間の場合の橋長は主に20~40m、4径間の場合には40~60mであった(図-4)。多径間の橋は単径間の橋よりも曲げモーメント分布が有利であることから、低桁高で断面効率がよい構造が実現できる。しかし、交通への影響を最小化する等の更新事業を考慮すると、現場打ちのコンクリートは桁下空間の交通への影響を避ける必要があるため(図-5)、プレキャスト桁の採用が有利となる(図-6)。

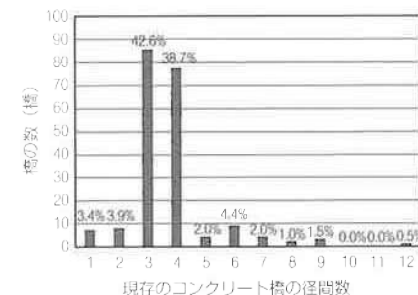


図-3 コンクリート橋のスパン数

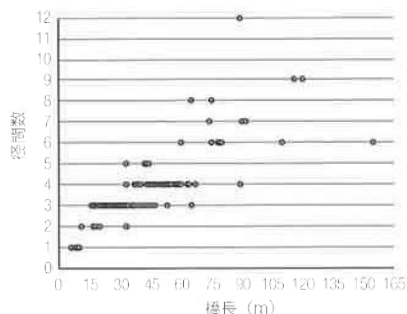


図-4 コンクリート橋の径間数と橋長の関係

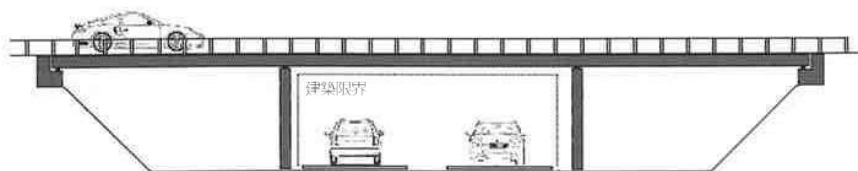


図-5 既存の3径間コンクリート橋 側面図

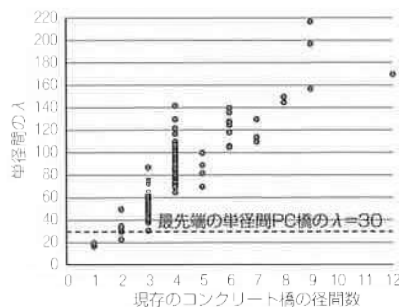


図-6 単径間に取り替えるために必要な入

中間支持を使用せずに現在の道路の建築限界を維持するには高いスレンダーネス(支間長 $L$ と桁高 $H$ の比、以下、 $\lambda$  [ $\lambda=L/H$ ])が必要である。しかし単径間では最先端のプレキャストプレストレストコンクリートの $\lambda$ は30にすぎないため、更新事業には不十分である。以上のことから、現在の建築限界を維持する更新事業には、高い $\lambda$ を有する軽量の革新的な構造が必要になる。

### 2. 交通への影響を最小とする橋の交換方法

#### 2-1 一般

現在のプロジェクトでは、プロジェクトの工期短縮について事業主体と施工会社、さらに社会の関心も高まっていることが注目される。これは、交通への影響を最小化するため、天候遅延を避けるため、工期短縮と同時に現場の安全性の増加や構造物の品質および耐久性の向上が要求されるためである。プロジェクトの工期を短縮するために、Accelerated Bridge Construction (以下、ABC) が高い $\lambda$ を有する軽量の橋と組み合わせ使用できる。

#### 2-2 ABCの実例

国際的には、既存のインフラを更新する効率的な方法としてアメリカではABCが活用されている。ABCは革新的な計画、設計、材料、および建設方法を安全かつ費用対効果の高い方法で行い、新設または既存の橋の交換と改修にかかる現場工程を短縮できる工法である。ABCを使用する一般的な理由は交通への影響を最小化すること、現場での作業性の問題に対応することである。多くの場合、長い迂回路や高価な仮設構造物の使用、および限られた工期において、ABCは従来の建設方法と比較して実用的で経済的な解決策を提供できる。ABCを使用したI-84橋プロジェクト(コネチカット州サジントンのマリオン



写真-1 既存の橋の撤去



写真-2 桁の仮置き



写真-3 SPMTでの架設

通り)を例に挙げる。この州間高速道路橋の交換には従来の建設方法を使用すると数カ月から1年以上かかることがある。対象となった橋梁は1964年に建設された2橋で構成され、橋の取替えのため2014年6月27日金曜日の午後9時から翌月曜日の午前5時まで高速道路が閉鎖されることが予定されていた。しかし取替え作業は順調に進行し、1橋が日曜の午後4時30分に、もう1橋は午後8時30分に開通した。既存の橋の解体後(写真-1)、既存の橋台に新しい橋桁が設置された。これらの上部構造は近くの支保工上で構築され(写真-2)、プレキャスト桁などの大きな構造を持ち上げて運ぶことができる輸送台車である自走式多軸台車(Self-Propelled Modular Transporters: 以下、SPMT)を使用して所定の場所に設置した(写真-3)。

### 2-3 革新的で高い入を有する構造

次世代の取替え作業に関しては、交通への影響を最小限に抑えて配置できる、高い入を有する軽量で革新的な構造が必要である。したがって、この構造の開発には、次の前提条件が適用される。

- ・橋長40 m以上を可能とするために入が45より大きいこと
- ・既存の下部工の保持
- ・ABCが使用できる軽量な自重
- ・互いに連結して桁を構築する機能
- ・交通への影響が少なく輸送可能な形状

#### 2-3-1 単径間における支間長 $L$ と

##### 桁高 $H$ の関係

既存の3径間のコンクリート橋を単径間に取り替えるために必要な入と、1974年以前に建設された3径間のコンクリート橋87橋の関係を図-7に示す。図-7からは以下の点がわかる。

- ・桁高一定とした場合、 $\lambda=45$ で単径間として10%が取替え可能である。
- ・桁高+200 mmとした場合、 $\lambda=45$ で

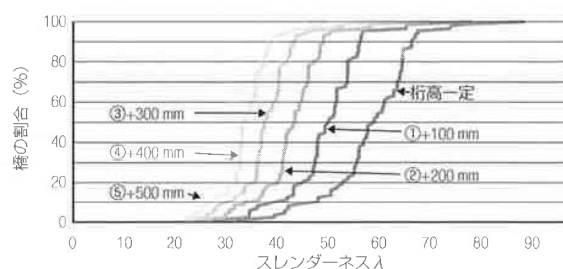


図-7 単径間で必要な入（増高別）

単径間として60%が取替え可能である。

- ・いずれの桁高でも $\lambda=55$ 以上は過大であり、 $\lambda=35$ 以下では単径間として対応不可である。

#### 2-3-2 既存の下部工の保持

取替え作業時の交通への影響をさらに減らすために最も有効な方法は、既存の下部工を保持することである。桁は高い入だけでなく、中間支持を撤去しても既存の下部工で支えられるほど軽量である必要がある。しかし、現況の設計基準を満足するためには、上部工の軽量化だけでなく、下部工や基礎工に対する検討が必要になる場合がある。その検討としてここでは2項目について述べる。

##### ①設計手法の再検討

1960年代から1980年代にかけて建設された橋梁の下部工基礎の設計手法はより安全側なものであった(図-8)。現代のFEM解析のような最新の手法で検討する場合、ばね剛性を評価して計算を行うと当時よりも大きな支持力が算出される(図-9)。

##### ②荷重の図心載荷

取替え後の上部工荷重を下部工の図心載荷とすることにより、下部工には偏心による曲げモーメントの圧縮成分が作用しなくなる(図-9)。

#### 2-3-3 ABCについて

2-2で例として示したように、ABC

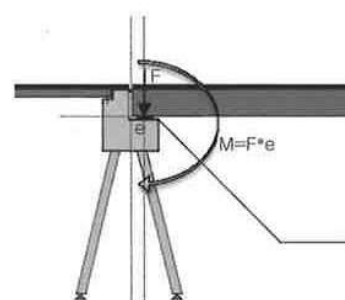


図-8 既存の下部工基礎の設計概念図

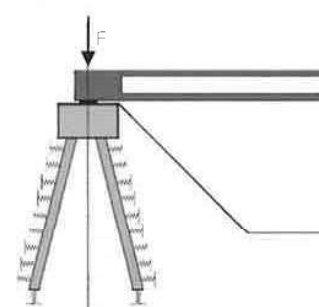


図-9 ①②に示す概念図

とSPMTを使用することによって、取替え作業は工期短縮される。プレキャスト桁を迅速に現場で架設することにより、一般に現場打ちコンクリート架設に要する数カ月という工期と比較して、数分、数時間しか交通への影響がない高品質な架設が実現できる。交通のない製作ヤードでのプレキャスト桁の製作は、設計および施工の柔軟性を高めることができる。また、ABC

とSPMTによる建設をより合理化するためにも、プレキャスト桁の自重軽減を検討すべきである。

## 2-3-4 容易に輸送可能なセグメント

プレキャスト桁の製作ヤードでは、事前に桁部材を構築、ストックできる。この場合、輸送の観点から分割数を増やすことも可能である。これにより、セグメントの輸送中に道路規制が不要になる。マレーシアのペラ川に架かるプレキャスト超高性能コンクリート橋（Ultra High Performance Concrete：以下、UHPC）の例では、スパン100mの橋においてUHPCを用いたセグメント（写真-4）を仮設鋼桁のレール上に配置し（写真-5）、すべてのセグメントを配置した後にポストテンションでプレストレスを導入し構築された（写真-6）。プレキャストセグメント構造の主な利点は、セグメントが容易に運搬可能であることと、コンクリートの収縮などの時間依存の影響がプレストレス損失にあまり影響を与えないことである。既存のコンクリート橋の架け替えにおいて、幅員方向に分割のないプレキャストセグメントを用いることによって合理的な施工が可能とした。



写真-4 UHPCセグメント



写真-5 セグメント架設



写真-6 完成全景

## 3. UHPCセグメントのコンセプト

高い入で軽量の構造を得るには、高度なセメント材料の使用に新たな可能性がある。例えば、HPCやUHPCを使用することにより前述までの要求性能を達成することができる。UHPCは250MPaの圧縮強度を有し、従来のコンクリートよりもはるかに高性能である。この圧縮強度により、UHPCセグメントは従来よりも高いプレストレスを導入することができ、より高い入を得ることができる。しかし、既往の製造設備では、プレテンションベッドの反力設備の容量の問題から最大でも2250tのプレテンションしか与えることができず、このプレテンションのみではUHPCに導入可能なプレストレス容量に達しないことから、ポストテンションと組み合わせる必要があることを意味する。

## 4. フィージビリティスタディ

### 4-1 プレストレスの検討

UHPCを用いた設計の可能性に関してフィージビリティスタディを行った。この目的は達成可能な入を確認することと、研究開発に必要なその他のことを発見することである。フィージビリティスタディの対象は、48mの単径間、幅員が16mである。以下に検討CASEを記載する。

CASE1では製造プロセスと形状が現在製造されている箱桁と同様のコンクリート箱桁橋の達成可能な入を決定する（図-10、CASE1）。箱桁寸法は幅

1480mm、ウェブ厚155mm、上床版厚170mm、下床版厚140mmである。鋼材は直径15.7mm 7本よりストランドを使用することとした。この構造で達成できる最大の入は40であった。CASE1では2250tのプレテンション容量の制限により、圧縮強度130MPaより高い強度でも入は大きくならない。

CASE2はプレテンションとポストテンションを組み合わせた設計である（図-10、CASE2）。これにより、より大きなプレストレスを導入することができる。ここで、ポストテンションストランドの最大配置数はディビダーク工法のマニュアルに準拠しているが、圧縮強度45MPaまでのコンクリートにおける定着体の配置間隔としている。これにより、UHPCを使用する場合には過大な配置間隔となる。計算に基づいてプレテンションとポストテンションを組み合わせると、達成できる最大の入は45であった。CASE2では配置できるポストテンションストランドの制約でプレストレスが決定され、圧縮強度150MPaより高い強度でも入は大きくならない。検討結果を図-11に示す。ここで、圧縮強度170MPaを使用するとストランドの配置限界に達するため、CASE2では圧縮強度150MPa、最小桁高1050mmストランド本数165本で $\lambda=45$ となる。

CASE3ではディビダーク工法のマニュアルにおけるコンクリート強度と定着体の配置間隔の関係を外挿し、UHPCの強度に適用した場合に達成可能な入を検討

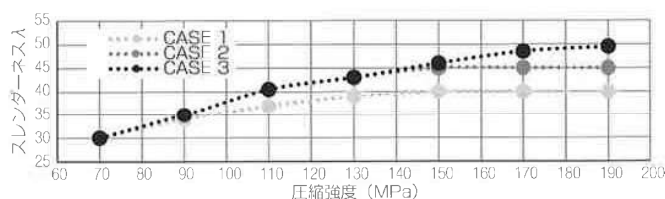


図-10 コンクリート圧縮強度と達成可能な入

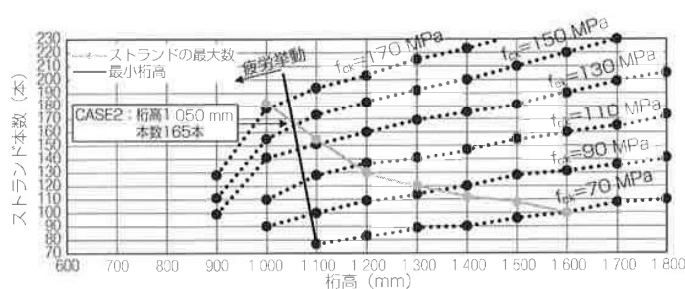


図-11 CASE2検討結果 ストランド本数と桁高の関係

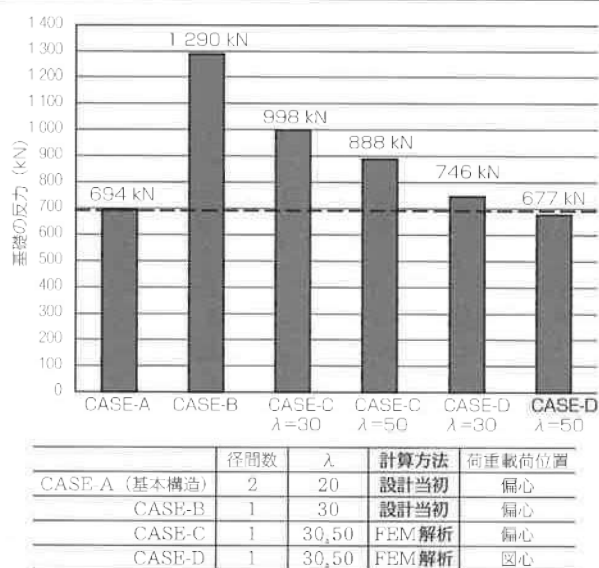


図-12 基礎の検討CASE一覧と結果

した(図-10, CASE3)。UHPHCの場合、配置間隔をより小さくすることができ、圧縮強度150 MPaよりも高いコンクリート強度を使用すると、ポストテンションストランドの配置が設計に影響を与えずに、より高いλを得ることができる。CASE3での最大のλは50となり、それ以上は疲労挙動が支配的となる。

#### 4-2 下部工基礎の検討

下部工基礎の検討では、既存の基礎の設計反力を超えない検討CASEがあるかどうかを確認した(図-12)。

CASE-Aでは2径間の橋長48 mの桁橋(基本構造)について、すべての荷重条件で最大694 kNの設計反力となった。

CASE-Bでは一般的なλ=30の単径間の箱桁橋について、CASE-Aと同様の計算方法のもと最大1290 kNとなり、CASE-Aよりも大幅に多い結果となった。

CASE-CではCASE-A, Bの計算方法に対して、FEM解析で水平方向と垂直方

向の両方のばね剛性を導入した。ここでは、λ=30とλ=50で検討したが、設計反力はCASE-Aの基本条件を超過している。

CASE-Dでは図-12に示すように、上部工荷重を下部工の図心載荷として計算し、最大設計反力はλ=50の箱桁橋の場合、CASE-Aの基本条件を超過しない結果となった。

#### 5. 結論と今後の展望

本稿では既存のコンクリート桁を高いλを有するUHPHCセグメント箱桁橋という革新的な構造で更新するアイデアを示した。プレテンションとポストテンションの組み合わせで、圧縮強度190 MPaのUHPHCプレキャストセグメントを使用することにより単径間でλ=50を達成し、さらに既存の基礎の最大設計反力を超過しないことが示された。既存の基礎を維持することで、多くの場合、工程を大幅に短縮できる。このフィージビリティスタディの

ために行われたさまざまな仮定は、実験的にも将来検証するべきである。また、現況の交通への影響を最小限とするために、SPMTを用いたABCによる建設方法を提案した。

革新的な構造と建設方法の利用に向けた将来の展望は、安全な設計を確保するための研究を行うことである。λ=50を実現するには、以下の詳細な検討が必要である。

- 1) UHPHC桁に高いプレストレスを導入する
- 2) 高いプレストレスが導入されたUHPHC桁の破壊挙動の検討
- 3) スターラップをなくしたUHPHC桁のせん断耐力の検討
- 4) UHPHC桁の疲労挙動の検討
- 5) ポストテンション定着体の配置間隔を短縮できる可能性について
- 6) 高強度ストランドを使用する可能性
- 7) UHPHCを使用する場合、かぶりを減らす可能性について

#### おわりに

日本の橋梁の更新事業では、床版の取替えや、主桁の部分補強等、橋梁の一部を更新する方法が主流であるが、世界では桁一連を丸ごと取り替えるという大胆な発想のもと、適用支間の長大化に向けて設計・施工の各種検討が行われている。今後日本においても設計・施工条件次第では桁全体の更新が採用される可能性もあるため、本稿がその一助になれば幸いである。

(紹介者：五味 傑)

#### 【参考文献】

- 1) Albert Reitsema, Mladena Luković, Dick Hordijk, 「TOWARDS SLENDER, INNOVATIVE CONCRETE STRUCTURES FOR REPLACEMENT OF EXISTING VIADUCTS」 fib SYMPOSIUM 2016, PROCEEDINGS, No.163

\* 海外文献研究グループ(五十音順)  
・は幹事

小野 元嗣  
木村 俊紀  
・五味 傑  
・駒場 駿介

(株)IHIインフラシステム  
(株)IHIインフラ建設  
三井住友建設(株)  
首都高速道路(株)

佐々木 優介  
・島田 剛気  
末松 慎介  
武石 真論

鹿島建設(株)  
首都高速道路(株)  
大日本コンサルタント(株)  
清水建設(株)

田村 洋  
成田 顕次  
野中 秀一  
舟橋 景介

横浜国立大学  
(公財)鉄道総合技術研究所  
パシフィックコンサルタンツ(株)  
(株)日本構造橋梁研究所