

既設橋梁のセミインテグラルアバット化 —トレヴィーゾ橋—

著：Gaetano Russo, Otello Bergamo, Luigi Damiani
訳：プレストレストコンクリート海外部会*

現存する多くの橋は、地震時の検討を含まない古い規準に基づいて設計されている。このような橋の大部分は現行規準の耐震性能を満足することができず、耐震補強が必要とされている。アメリカ、日本、ヨーロッパのいずれの国でも、1970年以前に建設された橋は、設計時に地震時の要求性能をまったく考慮していないか、考慮していても現在の要求性能を満たしていない。これらの橋の多くはコンクリート製の橋台あるいは橋脚に支持されているが、それらはじん性が低く地震に対する強度が不足している。そういった橋は、支間が短いもの（6～18m）から中程度のもの（18～90m）まで存在し、上部構造は、短支間では木製桁やコンクリート床版、中程度の支間では、鋼製桁、プレキャストコンクリート桁、現場打ちのコンクリート箱桁などさまざまである。一般的に、橋梁は支承を含む上部構造とそれらを支える下部構造から構成される。

本稿では、短支間の既存橋梁を対象とした耐震補強の例としてトレヴィーゾ橋を紹介する。その橋は、“アントニオ・カノーヴァ空港”という新しい空港がある、トレヴィーゾというヴェニス近郊の町にある。

トレヴィーゾ橋では、橋台背面に小径杭をもつセミインテグラルアバット橋（以下セミ-IA橋と記す）という新しい構造を適用した。

キーワード：短支間、補強、セミ-IA橋、連結、スラブ、小径杭のフォーミング

はじめに

多くの国々で見られるように、交通量の増加に伴い、道路整備と近代化が進められてきた。道路整備には多数の中小規模の橋梁建設が必要であり、それらの橋梁に対して、イギリス、カナダ、アメリカをはじめ多くの国々でインテグラルアバット橋（図-1 以下IA橋と記す）がしばしば採用されている。

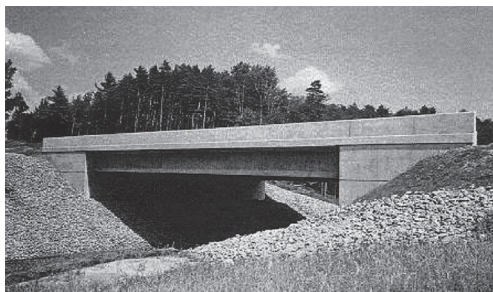


図-1 インテグラルアバット橋 (写真：www.cement.org)

セミ-IA橋（図-2）は、床版と上部工を連結し、一体化させたものである。それは、新しく開発された形式ではない。ハーディ・クロスが「両端固定構造のモーメント分配に関する連続フレーム解析」という論文を発表した1930年5月以降、IA橋は採用されるようになった。

This article was first published in English in *Structural Engineering International*, SEI Vol.19, May, 2009, pp137-141, IABSE, Zurich, Switzerland, www.iabse.org

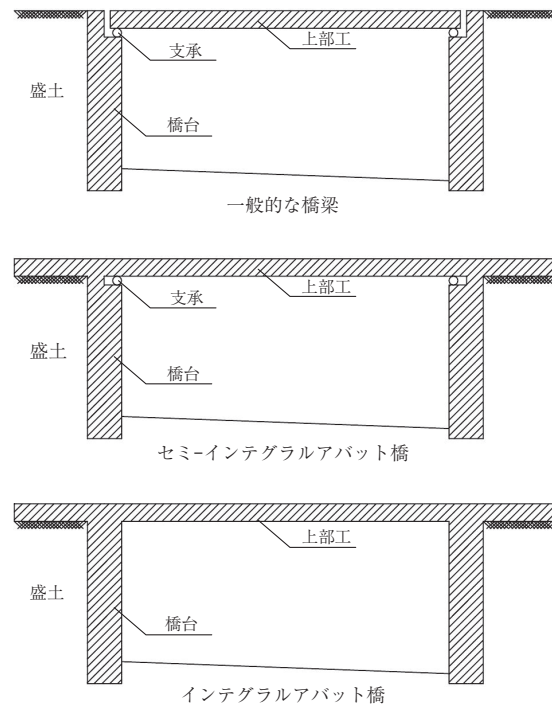


図-2 単純桁橋とセミ-IA橋, IA橋の比較

一般に知られているように、ハーディ・クロスの提唱したモーメント分配法はIA橋を含む連続橋の設計・施工における新発見と考えられた。

既存のIA橋について地震後の状態を確認した結果、地震時には地盤の相互作用と盛土の剛性に大きな影響を受けることが分かった。

IA橋およびセミ-IA橋の利点は、伸縮装置を取り除く

○ 海外文献 ○

ことで供用期間中の維持管理コストを低減できることである。伸縮装置は、交通車両の障害となったり、漏水によって支承に水を侵入させたり、また疲労劣化の原因となる大きな振動を発生させたりと橋梁にとって弱点となるからである。

IA 橋とセミ-IA 橋の違いは、支承の有無によるものである（図-2）。

1. 耐震補強概念

一般に、耐震補強は、そのトータルコストが架替えに必要なコストの60%程度を超えない場合に採用される。耐震補強に必要なコストには、地震以外の荷重に対する補強や、地震による応答をコントロールする制震装置の設置などを含んでいる。

耐震補強の方法の1つは、水平方向の荷重に対してじん性の高い部材を配置し、その部材をいわばヒューズのように挙動させることである。

このヒューズは、大きな変形に耐えることができ、補修が容易である必要がある。そのヒューズにより、補修が困難かつ高価となる部材に対し、地震荷重が集中することを抑える。

このような耐震補強の例としては、柱に塑性ヒンジが生じることを許容することや、小径杭、免震支承の使用などがあげられる。

2. トレヴィーゾ橋の概要

トレヴィーゾ橋（図-3、4）は、5本のPCダブルT桁を1.8m間隔で設置した支間17.4m、幅員9.0mの単純橋で、1980年に建造された。支承はゴム支承で、53

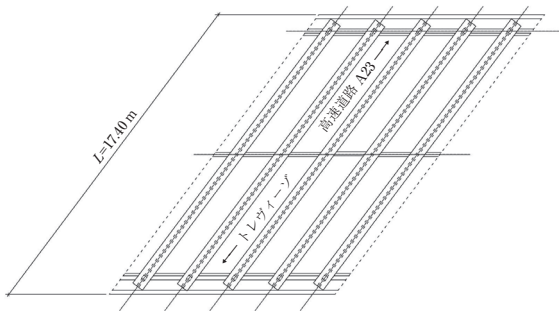


図-3 トレヴィーゾ橋 平面図

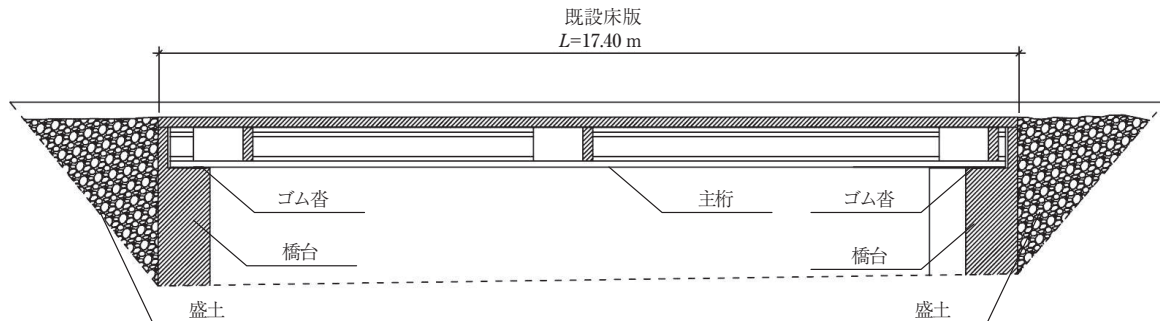


図-4 トレヴィーゾ橋 側面図

度の斜角を有している。橋面およびアプローチ部の舗装はアスファルトコンクリートである。床版厚は200mmで、踏掛版が無い構造である。

この橋は未開通区間に位置していたため、イタリアの道路会社（A.N.A.S.）は今までにメンテナンスを行っていなかった。

3. セミ-IA 橋化による耐震補強

セミ-IA 橋化による耐震補強方法について検討した。初期に必要な工事としては、次のようなものがある。

1. 損傷部分を除去するために既設床版表面を20mmの深さでサンドブラスト処理を行う。
2. 新たな踏掛版と連結床版および小径杭のフーチングを施工するため橋台背面を掘削する。
3. 長さ16.0m、厚さ8.0mmの小径鋼管杭を連続して施工していく（図-5）。



図-5 新設された小径杭

4. 新たな床版の鉄筋を既存の床版に接続することで、両者を一体化する（図-6）。踏掛版と連結床版は厚さ200mmで、上面を70mm増厚した既設床版と一体化される。新設部の延長は片側で合計7.0mとなる。地震時水平力を吸収する新たな機構が追加されるので、橋台部分の地盤状態も補強される。

小径杭は、橋梁の両側に18本ずつ配置した。小径杭は橋台から4.06mの位置で1.4×1.0mのコンクリートフーチングに固定され、連結床版によって地震力が伝達される。

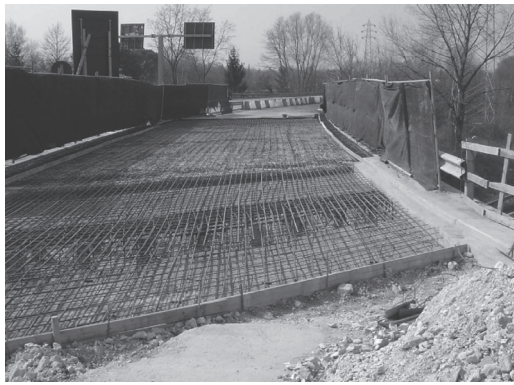


図 - 6 床版配筋状況

小径杭は、橋台付近の盛土を補強するとともに、地震時に杭頭部が塑性化することで、地震による水平力の増加を抑制する。

新設構造は、鉛直力に対する挙動の変化を抑えるよう、十分に柔軟な構造とした。

本工事に用いた材料は以下のとおりである。

1. 新設床版コンクリート：C25/30 これは、実際に橋梁が曝されるよりも厳しい条件である、UNI EN 206-1 で定義される XF4（凍結防止剤使用環境）という環境条件に基づいている。
2. 小径杭中詰めコンクリート：C25/30
3. 鉄筋：付着性能を改良した FeB44k

地質調査結果報告書から、下記の地盤条件が確認できた。

1. 盛土地表面（GL ± 0 m）から GL - 5 m までは、路床支持材として良好な地盤であった。そこで、地盤条件は表 - 1 に示すとおりとした。ここで、 γ は単位体積重量、 ϕ は内部摩擦角を示す。
2. GL - 5 m から GL - 10 m までは、表 - 1 に示す地盤条件を有する適度に締め固められた粘土層であった。ここで、 C_u は、非排水せん断強度を示す。
3. GL - 10 m から GL - 20 m までは、表 - 1 に示す地盤条件を有する砂層であった。

4. 構造解析モデル

構造解析モデルでは、既設床版、新設床版、小径杭のフーチングを考慮した。

PC 桁はオイラー・ベルヌーイの梁要素を、既設床版

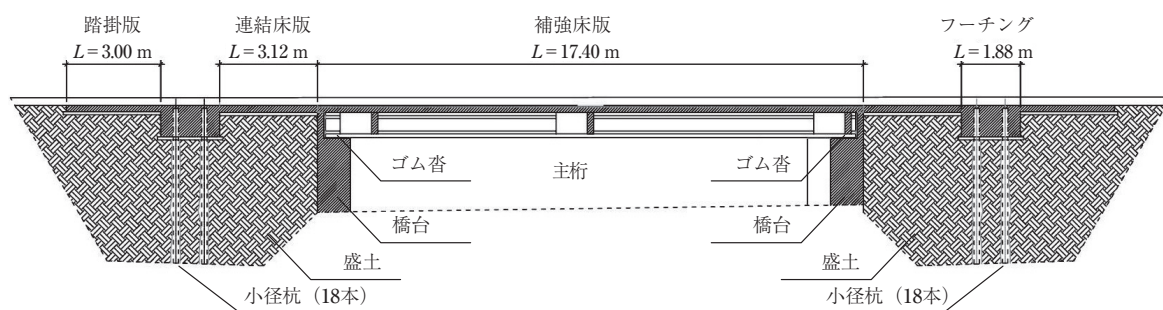


図 - 7 セミ-IA 化後のトレヴィーゾ橋 側面図

表 - 1 地盤の機械的性質

	レベル		
	0 ~ -5 m	-5 ~ -10 m	-10 ~ -20 m
γ	18 kN/m ³	18 kN/m ³	18 kN/m ³
ϕ	37°	0°	37°
C_u	-	50 kPa	-

は 4 節点アイソパラメトリックシェル要素を用いてモデル化した。同様に小径杭のフーチングには梁要素を、新設床版にはシェル要素を用いた。

5. 固有値解析

5 次モードまでの固有値解析結果を表 - 2 に示す。表より、補強後の橋梁の振動特性は、1 次モードと 3 次モード（ともに水平面内方向）が卓越していることが分かる。

表 - 2 固有値解析結果

モード	振動数 (Hz)	有効質量 (%)		
		-X	-Y	-Z
1	2.04	87.659	0.000	0.000
2	2.67	0.000	0.000	0.897
3	2.84	0.000	0.000	89.454
4	3.85	6.785	0.000	0.000
5	4.37	0.000	60.047	0.000

6. 補強（セミ-IA 化）前後の水平力の比較

既設橋と補強（セミ-IA 化）後のそれぞれの挙動を、FEM 解析により比較した。桁の有効変位を適切に表現できるように、支承もモデル化した。

小径杭は、次式にて算出される水平弾性バネで支持した。

$$k_h = \frac{n_h \times z}{D}$$

ここで、 z は表面からの深さ、 D は杭径、 n_h は表 - 3 から決定する地盤反力係数である。地震力の算出には、Eurocode 8 で定められたスペクトル {PGA = 0.15 G（イタリアでの地域区分 3）、地盤種別 B（低減係数 1.0）} を使用した。構造物係数は、 $q = 1.0$ とした。結果は次の通りであった。

表 - 3 地盤反力係数 n_h

	地表からの深さ (m)	n_h (kN/m ³)
1	0 ~ 5	5 000
2	5 ~ 25	8 000

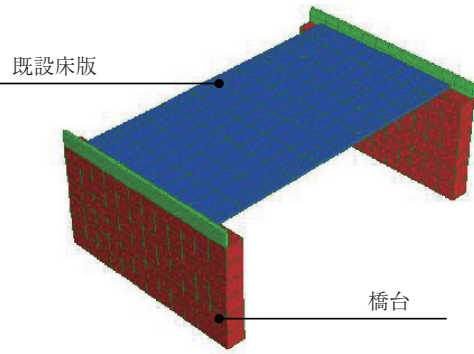


図 - 8 既設橋梁の FE モデル

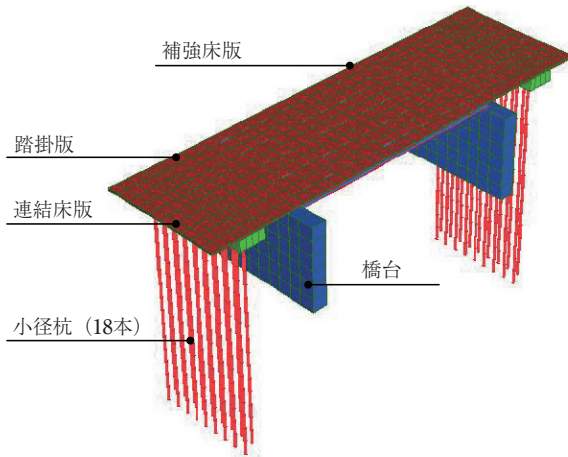


図 - 9 セミ-IA 化後橋梁の FE モデル

1. 上部工に作用する単位幅あたりの橋軸方向水平力
 既設橋梁： $F_{max} = 355 \text{ kN/m}$
 補強橋梁： $F_{max} = 66 \text{ kN/m}$
 水平力は、81.4%減となった。橋軸方向水平力の分布は図-10に示すとおりであった。

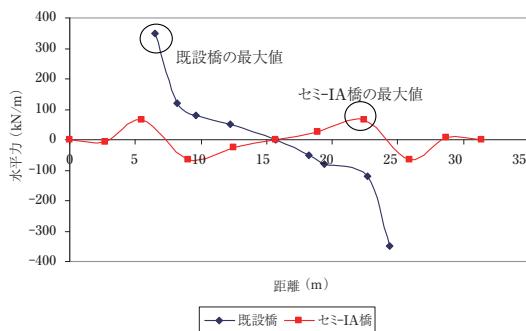


図 - 10 橋軸方向水平力分布

2. アバット位置の上部工に作用する単位幅あたりの橋軸直角方向水平力
 既設橋梁： $F_{max} = 199 \text{ kN/m}$
 補強橋梁： $F_{max} = 89 \text{ kN/m}$
 水平力は、55.3%減となった。橋軸方向水平力の分布は図-11に示すとおりであった。

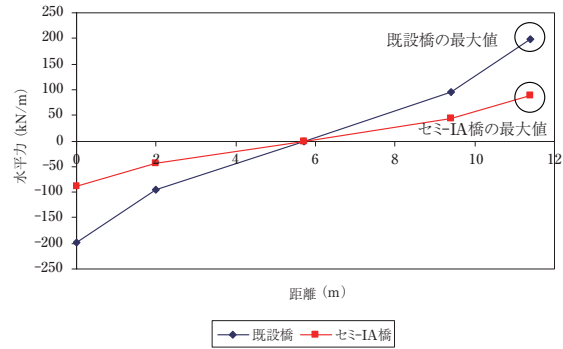


図 - 11 橋軸直角方向水平力分布

7. 経済性

本橋梁の耐震補強に要した費用は 95 000 € (120 円 / € 換算で 1,100 万円) であった。これは初期建設費 650 000 € (同 7,800 万円) の約 15 % であり、費用対効果の高い対策であるといえる。

まとめ

本稿では橋梁をセミ-IA 化することによる耐震補強について述べた。

近年セミ-IA 化という考えは既設橋梁の耐震性能向上のための重要な役割を担っている。さらにセミ-IA 橋は伸縮装置が不要であるのでその維持補修に要する費用を削減できる。

耐震性能という観点からすると、小径杭の役割は地震による水平力を吸収し直接地盤に伝達することで、橋台に作用する水平力を低減させることである。

セミ-IA 化および小径杭の使用により上部工に作用する橋軸方向水平力は 81.4 % 低減され、直角方向水平力は 55.3 % 低減することができた。

さらに、セミ-IA 化は橋梁の静的挙動には影響を及ぼさず、地震による水平力に対してだけ抵抗するという長所も有している。

小径杭を併用した既設橋梁のセミ-IA 化による耐震補強は、経済的であり、Eurocode で求められる耐震性能を確保できる工法である。

原典

Gaetano Russo, Otello Bergamo, Luigi Damiani, "Retrofitting a Short Span Bridge with a Semi-Integral Abutment Bridge: The Treviso Bridge". IABSE (<http://www.iabse.org>), Structural Engineering International, Volume 19, Number 2, 2010, pp.137-141

* : プレストレストコンクリート海外部会委員
 雨宮 美子 (㈱ピーエス三菱)
 池上浩太郎 (ピーシー橋梁 ㈱)
 喜多 俊介 (鹿島建設 ㈱)
 前川 敦 (首都高速道路 ㈱)
 水谷亮太郎 (㈱ 銭高組)

【2011 年 1 月 26 日受付】