

2. ピツツバーグ道路橋崩落他事故事例

高木 千太郎
アイセイ株式会社

何故・橋は落ちたのか？

Why did the bridge collapse?

一般社団法人 日本構造物診断技術協会

アイセイ 株式会社

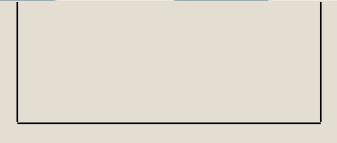
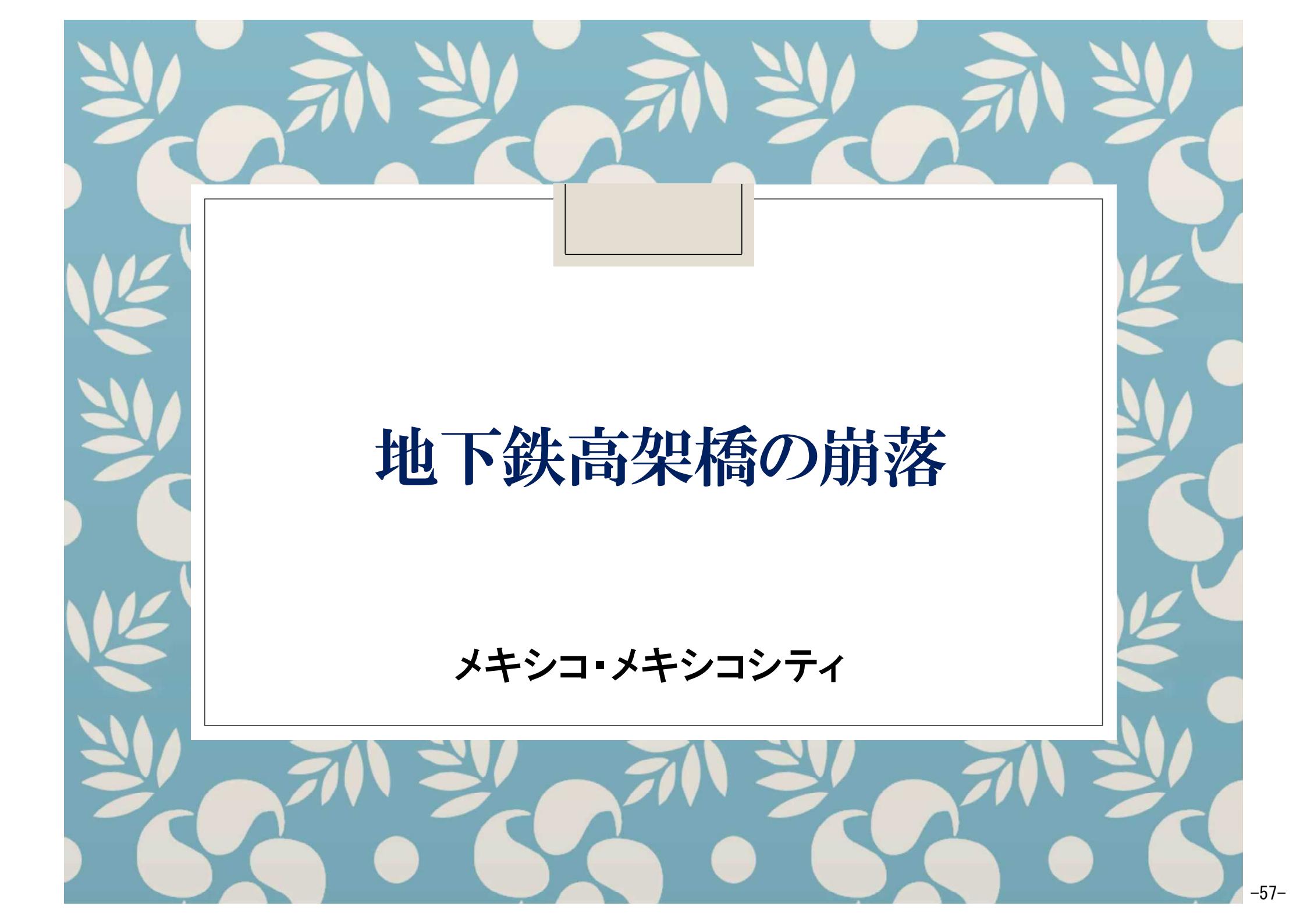
エキスパートアドバイザー 高木 千太郎
Sentaro Takagi

第47回鋼構造基礎講座

何故・橋は落ちたのか？

1. メキシコ市・地下鉄高架橋崩落事故

2. ピツツバーグ市・道路橋崩落事故



地下鉄高架橋の崩落

メキシコ・メキシコシティ

地下鉄12号線崩落状況



メキシコシティ地下鉄崩落事故

- ・ 崩落事故; 2021年5月3日午後10時22分(現地時間)
- ・ 場所; 地下鉄12号線・オリボス駅付近
- ・ 状況; 地下鉄車両約12m(40フィート)落下
- ・ 死傷者数; 26人死亡、79人負傷
- ・ 問題点;
 - ・ 2012年に開通した最新の路線で事故が発生した
 - ・ 過去35年間大地震は2度発生、他の区間では事故は無い
 - ・ 開通当初から、構造的欠陥を指摘されていた
 - ・ 2014年に閉鎖し、修繕工事を行っている
 - ・ 2017年「恒久的なメンテナンスが必要」地下鉄局長発言

地下鉄12号線崩落個所前後の状況

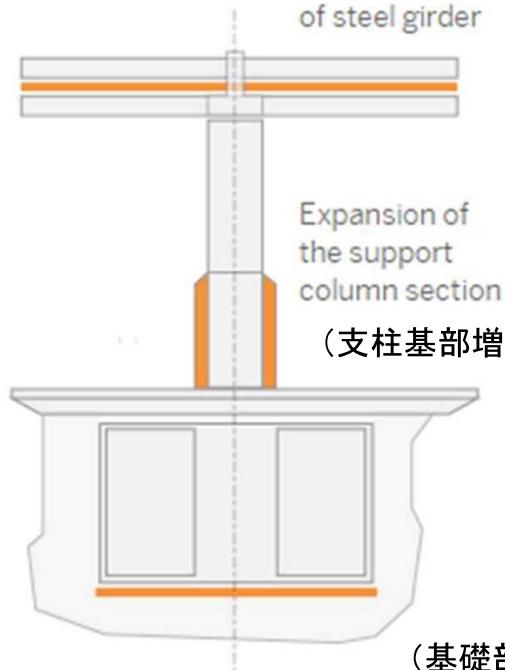


地下鉄12号線崩落個所前後の状況



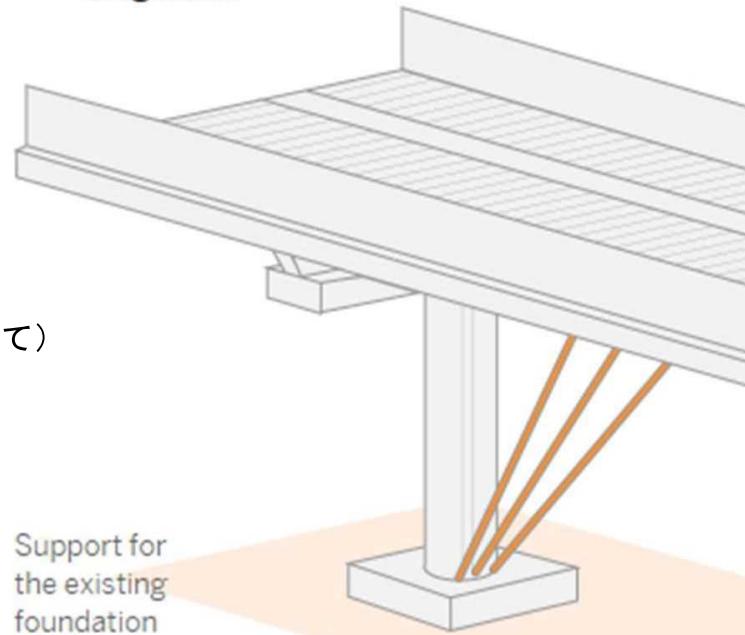
Repair of a support column (橋脚単柱の修繕)

Reinforcement
of steel girder (桁補強)



Expansion of
the support
column section
(支柱基部増厚巻き立て)

Installation of reinforced diagonals (斜材による補強)



Support for
the existing
foundation

Before



After



Before



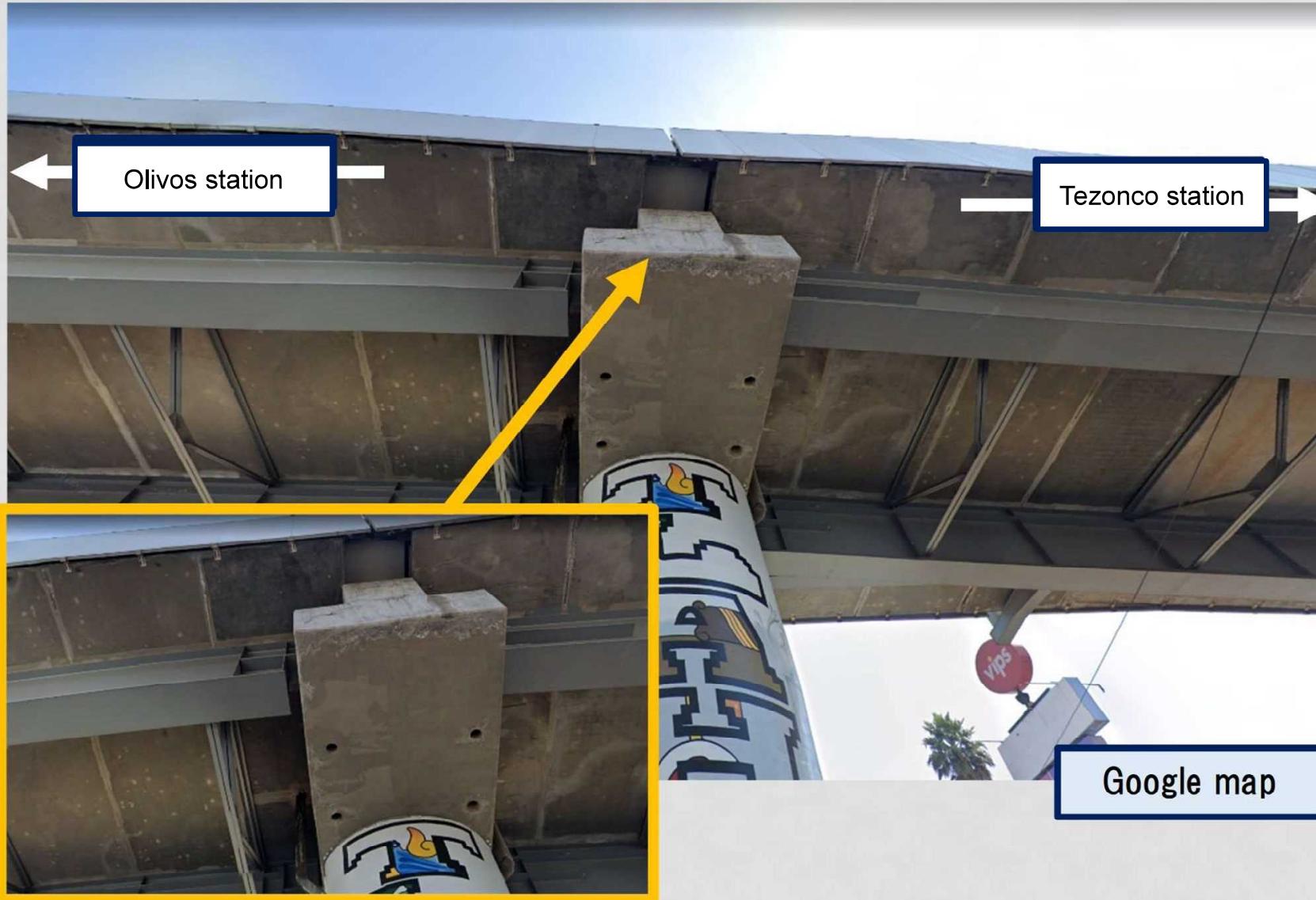
After



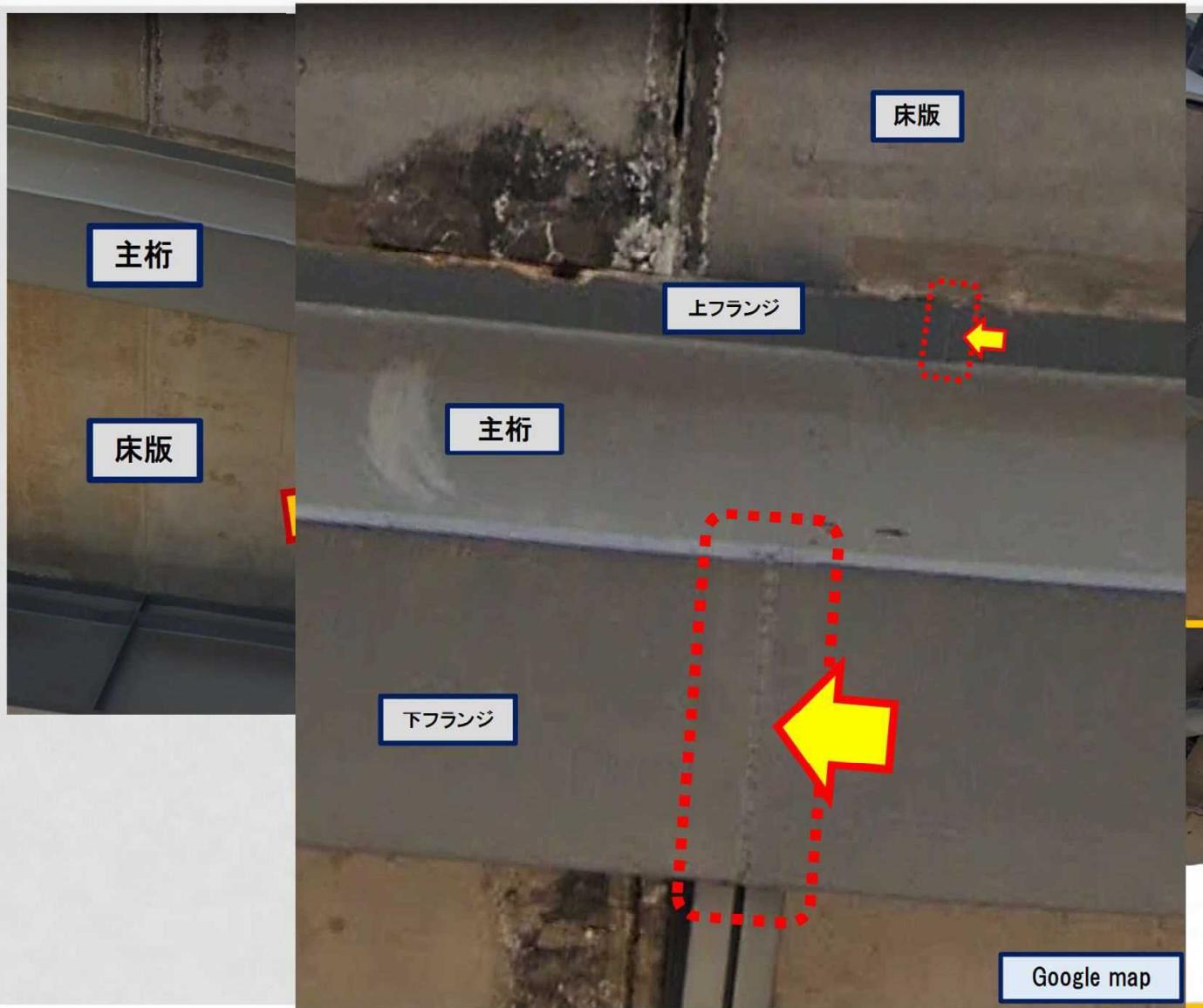
Source: Metro CDMX and OSM. 出展: オープンソース地図及び地下鉄

現地報道ニュースより転写

私の着目ポイント：橋脚梁部



私の着目ポイント：鋼桁継手溶接部



私が着目したポイント

1. 橋脚頭部の梁及び横拘束構造

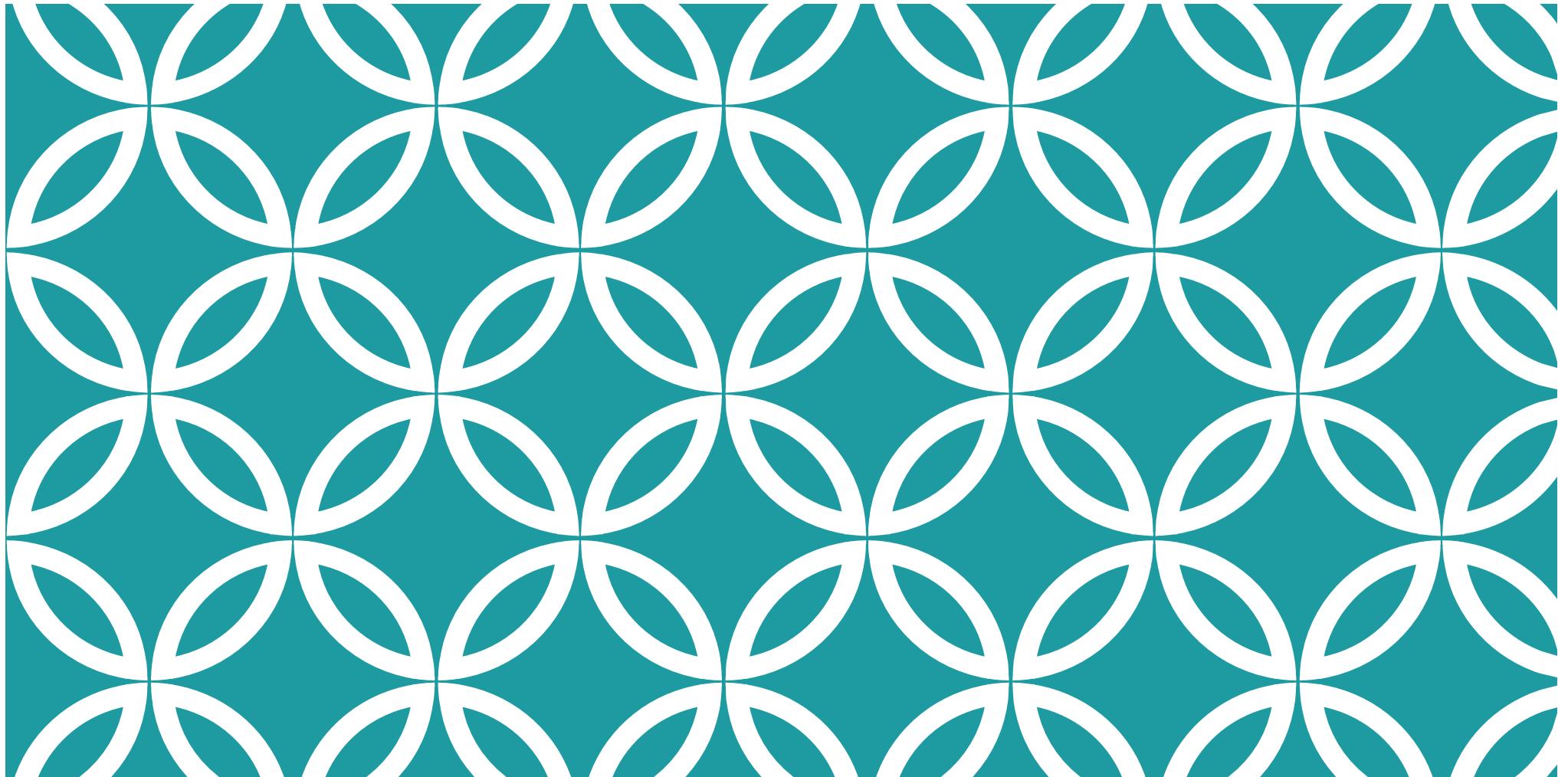
隠された箇所には、桁の変位等を示す現状があった？

2. 鋼桁継手部の溶接

桁継溶接は良好とは思えない。

3. 床版の継手部周辺の異常

漏水とさび汁からは、PC床版との合成不良、施工不良が想定される。



公開された崩落原因 |

崩落事故の原因：計画・建設時

1. 地下鉄12号線開通前の問題

- 政治的な圧力と潜在的な過失（マルセロ・エブラルド市長）
- コスト低減策
 - ① 計画 トンネルから高架構造へ変更
コストを抑える ⇒ 急こう配と急カーブ
 - ② 任期と開通時期設定（2008～2012：約24kmを4年）
 - ③ フランスの企業アルストムやスペインのCAFが参加した国際的なコンソーシアムにより建設

崩落事故の原因：地震後の修繕

2. 2017年メキシコ中部地震 (M7.1) による被災と修繕

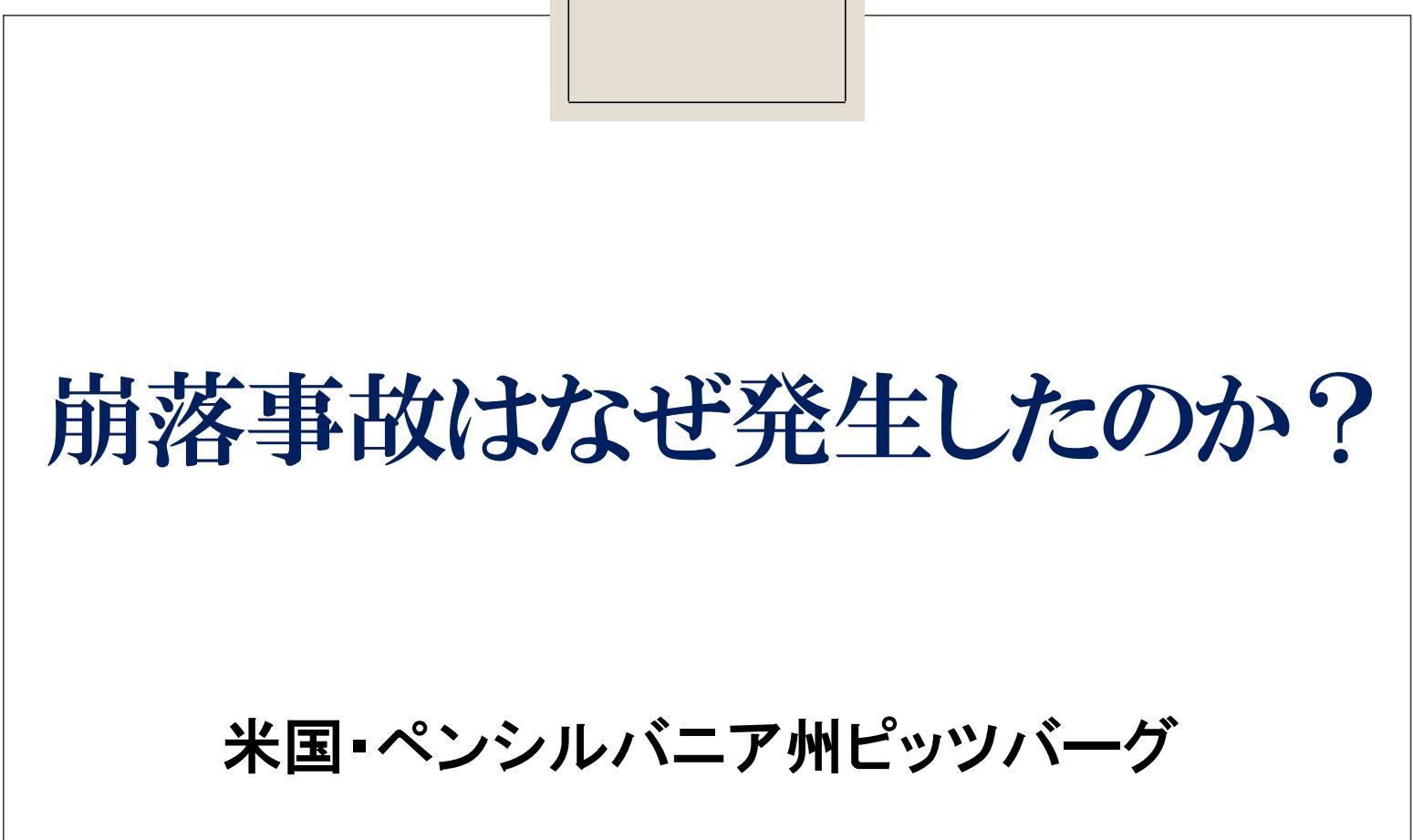
- ・ テソンコ駅からオリバス駅まで閉鎖
- ・ 橋脚基部に発生しているひび割れについて住民の苦情
- ・ 被災後1,500万ペソ（約100万ドル）投資、4か月閉鎖
- ・ オリバス駅からノパレラ駅間の橋脚補強等実施

崩落事故の原因：建設時の瑕疵

3. 建設上の欠陥を調査会社が指摘

（ノルウェーリスク管理会社DNV (Det Norske Veritas)

- ①鋼桁溶接不良と基準を満たしていない材料の使用
- ②スタッドボルトスタッド溶接の欠陥・不良、本数不足
合成不良による想定外の荷重 ⇒ 疲労損傷発生
- ③桁配置のずれ
- ④メンテナンスと点検の問題
不十分な修繕
経年及び車両走行による疲労損傷発生



崩落事故はなぜ発生したのか？

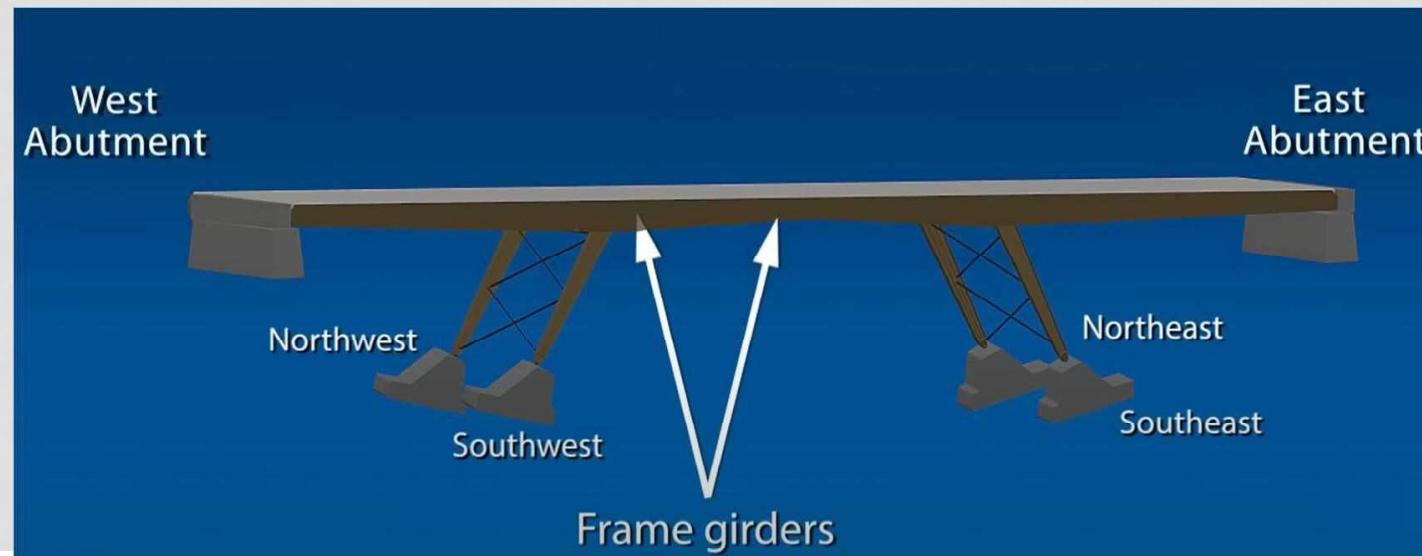
米国・ペンシルバニア州ピッツバーグ

ファーンホール橋(Fern Hollow Bridge)崩落



ファンホロー橋(Fern Hollow Bridge)崩落

- 2022年1月28日金曜日、東部標準時の午前6時40分頃
Fern Hollow Bridge崩落事故発生
- 西側鋼主構及び床版が西側橋台から落下（ずり落ちる）
- 橋梁全体が崩落

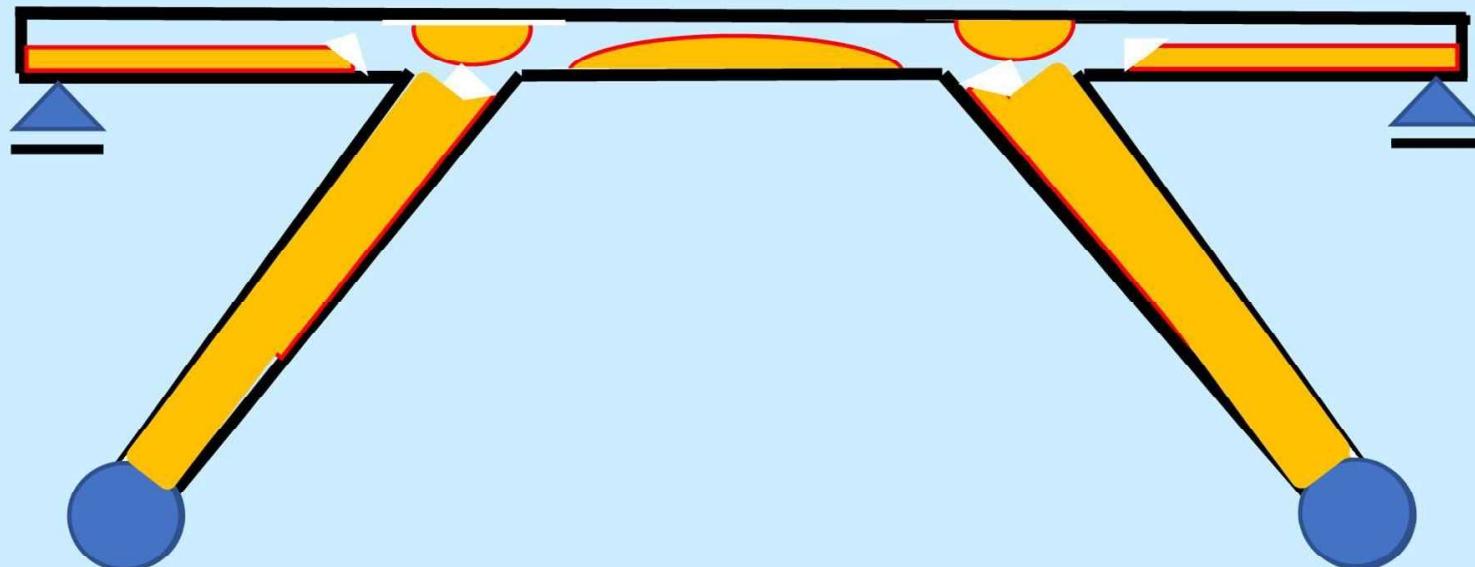


点検ポイント：Fern Hollow Bridge

Rigid Frame Bridge

a two frame steel rigid frame is a fracture critical bridge type

Check the tension and compression flanges for corrosion, section loss, cracks or buckling. Special attention should be given to the flanges at the connection between the legs and girder portion of the beam. Bending moment is at its highest in this area.



構造劣化現象：Fern Hollow Bridge

- 構造劣化現象



Inspection photo of
southwest leg in year 2013

南西橋脚

Inspection photo of
southwest leg in year 2021



鋼製脚横梁の状況：Fern Hollow Bridge



定期点検

◎ 2005 年から

1. 2005 年か

2. 2011 年以

3. 指摘事項 :

4. メンテナンス

Code	Description	Commonly Employed Feasible Actions
9	Excellent Condition 素晴らしい状態	Preventive Maintenance
8	Very Good Condition 非常に良い状態 No problems noted	
7	Good Condition 良い状態 Some minor problems	
6	Satisfactory Condition 良好な状態 Structural elements show some minor deterioration	Preventive Maintenance; and/or Repairs
5	Fair Condition 良好な状態 All primary structural elements are sound but have some minor section loss, cracking spalling or scour	
4	Poor Condition 悪い状態 Advanced section loss, deterioration, spalling or scour	Rehabilitation or Replacement
3	Serious Condition 重篤な状態 Loss of section, deterioration, spalling or scour have seriously affected primary structural components. Local failures are possible. Fatigue cracks in steel or shear cracks in concrete may be present	
2	Critical Condition 危篤状態 Advanced deterioration of primary structure elements. Fatigue cracks in steel or shear cracks in concrete may be present or scour may have removed substructure support. Unless closely monitored the bridge may have to be closed until corrective action is taken.	
1	Imminent Failure Condition 緊急状態 Major deterioration or section loss present in critical structural components or obvious vertical or horizontal movement affecting structure stability. Bridge is closed to traffic but corrective action may put back in light service.	

Bridge

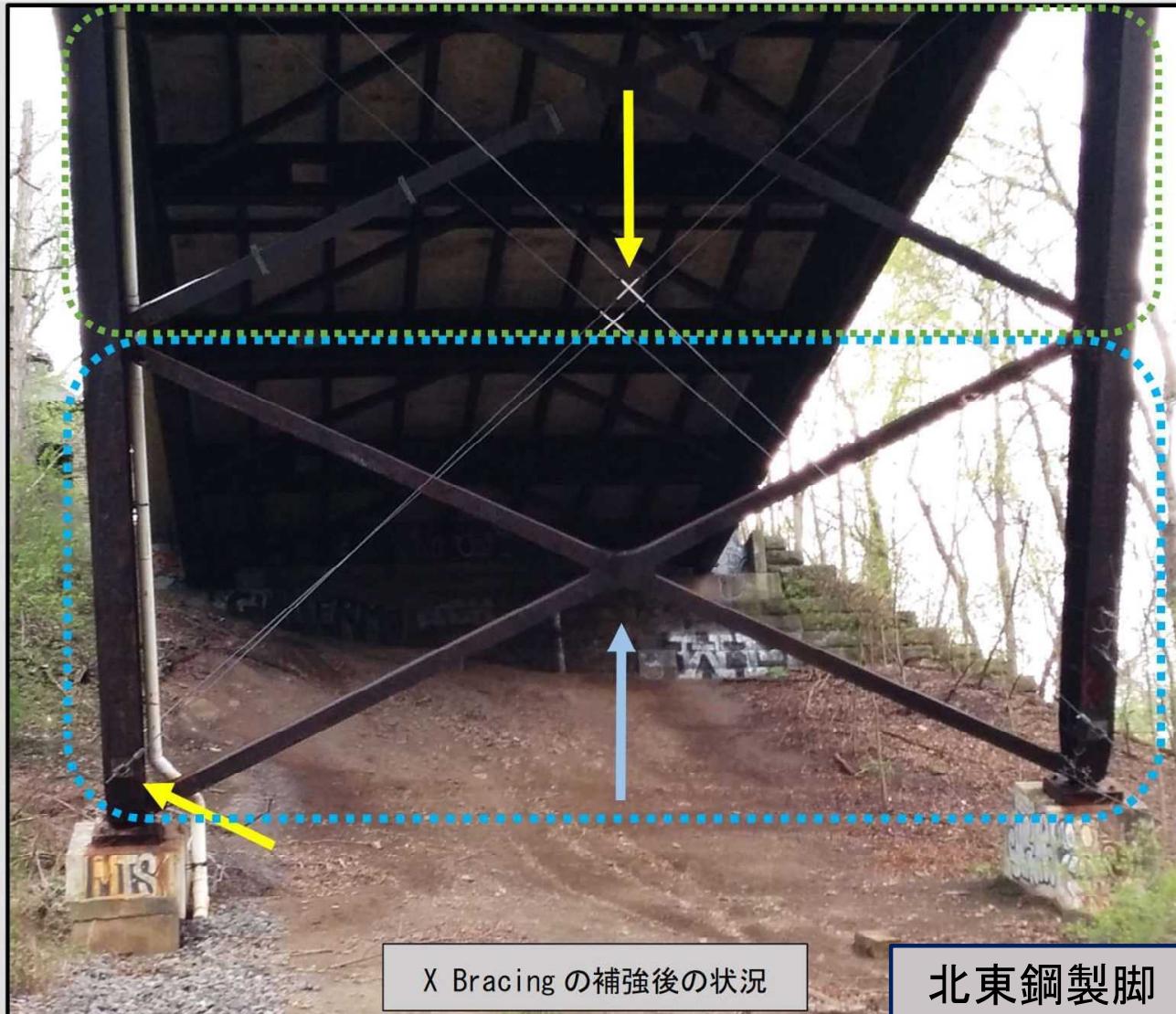
良好) と評価

格下

幅の空隙)

化部材の修繕

橋脚Xブレーシング補強状況：Fern Hollow Bridge

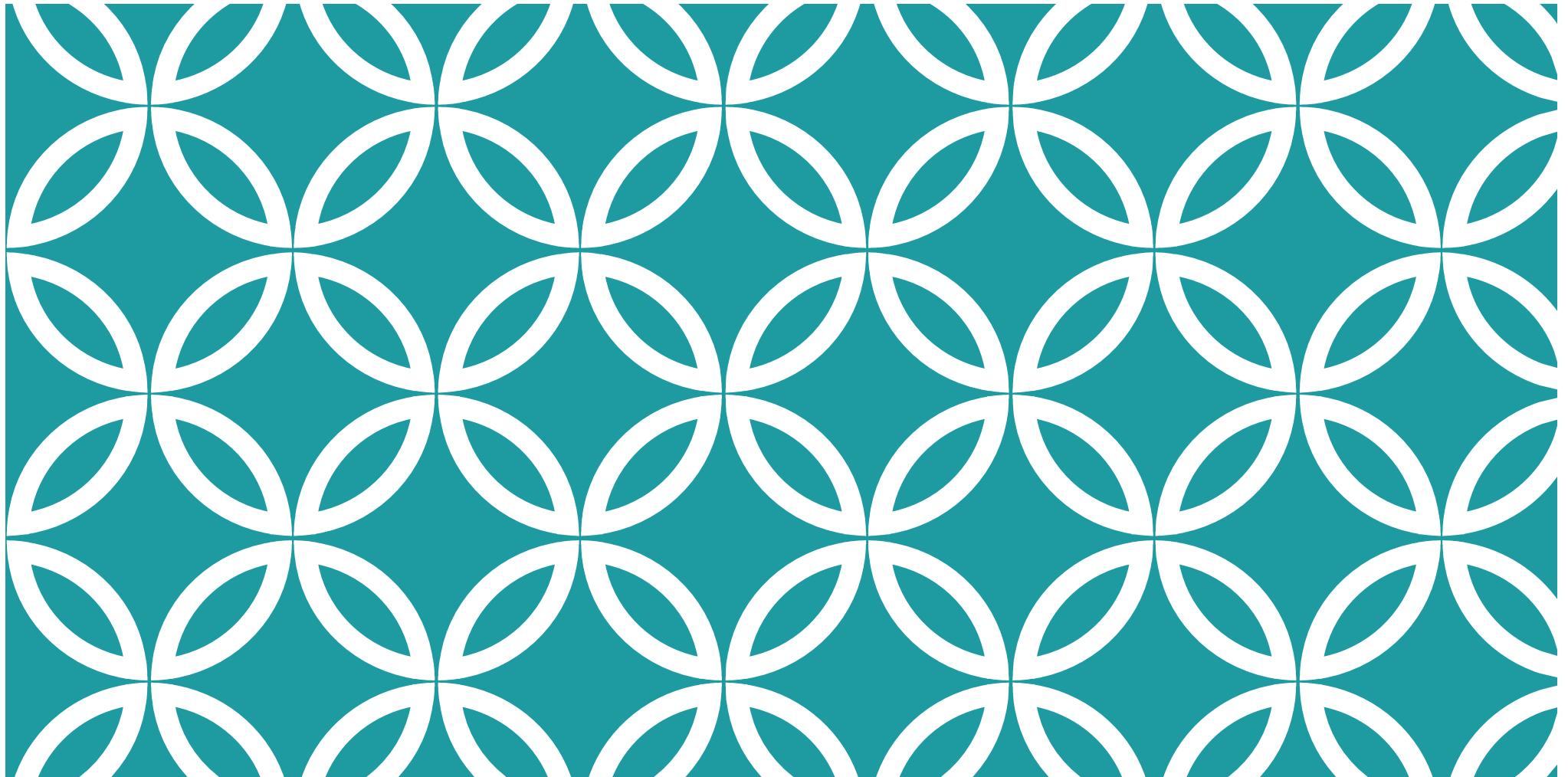


橋脚基部の破壊状況 : Fern Hollow Bridge



私の着目したポイント

- ・激しく腐食した横梁の鋼製ケーブル補強（2009年実施）
ケーブル補強は仮補強、恒久的な型鋼等の補強は未実施
- ・定期点検診断の診断の誤った評価
重要な損傷ではなく、悪い状態として評価
⇒ 通行止めによる要修繕
- ・リダンダンシー（冗長性）不足構造
⇒ 南西橋脚一つの欠損で崩落する
- ・適切な定期点検実施と効果的なメンテナンス及び修繕の重要性を浮き彫りにした



公開された崩落原因 |

NTSBの調査：Fern Hollow Bridge



NTSBの結論 その1

(National Transportation Safety Board)

1. 南西側横桁の広範囲腐食と断面欠損により破壊
2. ピツツバーグ市が定期点検で繰り返し指摘している
保守及び修繕を怠った
3. 崩落要因
 - ① 定期点検におけるレベルの低い診断
 - ② 橋梁崩落至る部材特定 (Fracture Critical Member) を怠った
 - ③ 橋梁定格荷重の不適切な算定

設計厚の2倍以上（アスファルト舗装）見落とし

NTSBの結論 その 2

4. ペンシルバニア州 (PenDOT) の定期点検プログラムの不十分な監督
5. 定期点検を行った橋梁点検士の責任は大きい
6. ピッツバーグ市の代理で作業するPenDOTの請負業者はガイドラインに従わずに点検を行っていた。
7. 調査で特定した安全上の問題に対処し、全国の橋梁の適切な点検とメンテナンスを確実に行うよう、さまざまな機関や組織に勧告

ご清聴ありがとうございます！

