

BP支承の耐震補強技術



首都高速道路
株式会社

蔵治 賢太郎
副島 直史
関根 英人
石原 陽介
須田 郁慧
斎藤 聖



一般財団法人
首都高速道路技術センター

張 広鋒 ○
山本 一貴
水谷 亮勝



日本鑄造
株式会社

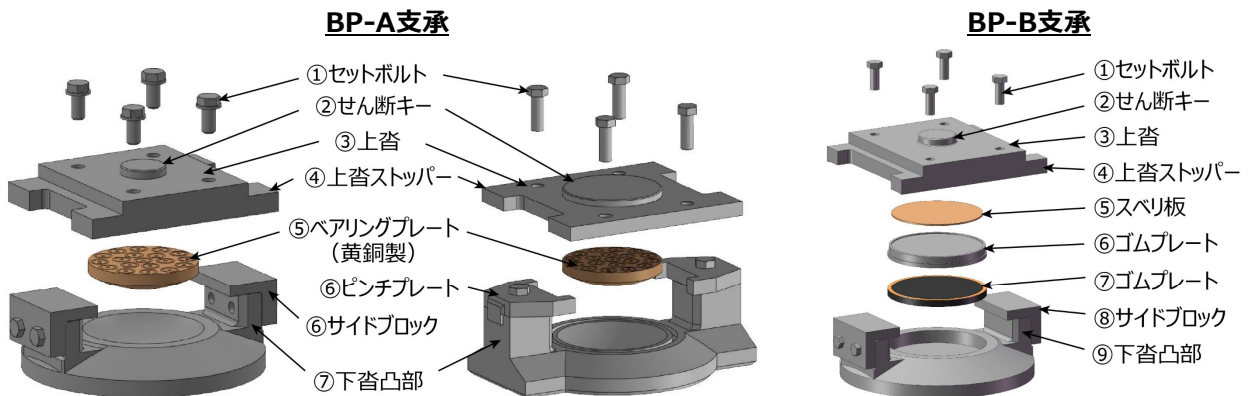
朝倉 康信
石山 昌幸
山崎 信宏
白 龍
吉田 健人

目次

- ① 背景
- ② 目的
- ③ 開発：補強構造の概要，開発の考え方，補強メカニズム
- ④ 確認：載荷実験，FEM解析
- ⑤ 設計
- ⑥ 製作
- ⑦ 施工

【①背景】BP支承の概要

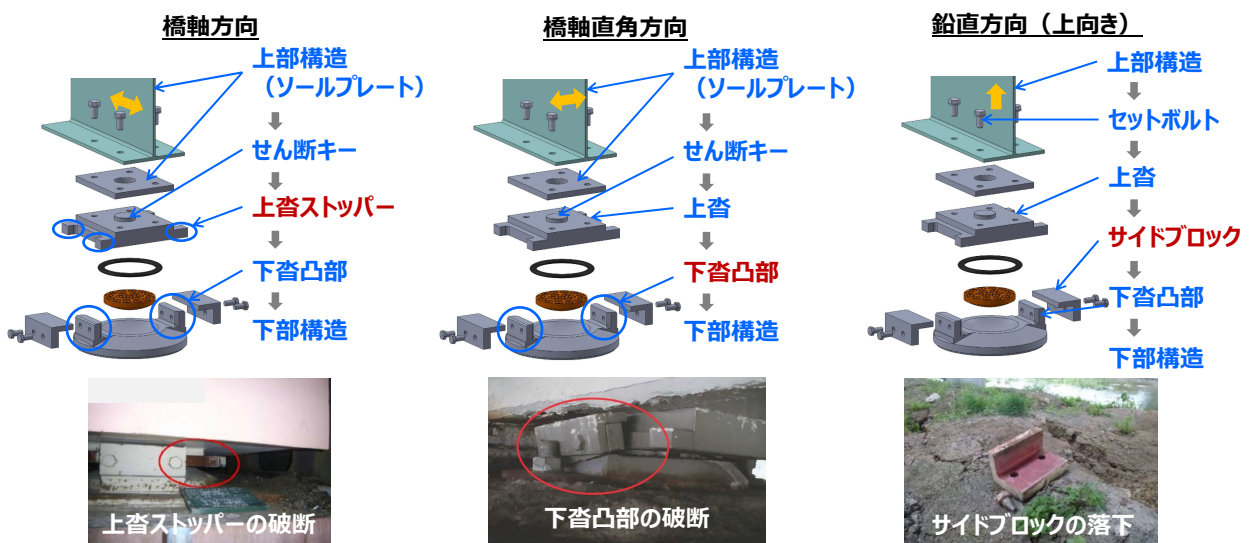
- BP (Bearing Plate) 支承：鋼製支承板支承
- 1960年代に開発
- 高力黄銅支承板支承 (BP-A) , 密閉ゴム支承板支承 (BP-B)



首都高速道路のBP-A支承（左：標準タイプ、右：ピンチプレートタイプ）

【①背景】BP支承の地震力の伝達と特徴的な損傷

- クリティカル部材：上沓ストッパー、下沓凸部、サイドブロック（取付ボルト）



【①背景】近年の地震におけるBP支承の損傷

■ L1地震動で設計されたBP支承：支承部材の破断，脱落，落下，など

→ 支承部材の破断や脱落による支承の**支持機能の喪失**
部材の落下による通行人や通行車両への**第三者被害のリスク**



一般財団法人
首都高速道路技術センター
Shutoko Technology Center

・平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震による道路橋等の被害調査報告，国土技術政策総合研究所資料，2014.11
・令和6年能登半島地震土木施設被害調査等報告，国土技術政策総合研究所資料，R7.3

-5-

【①背景】日本における主な地震リスク（2025.1時点）

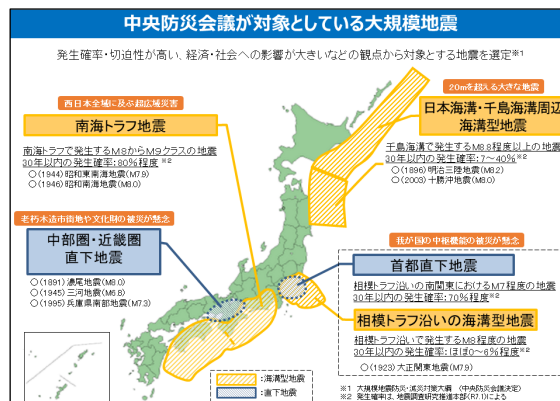
首都直下地震

- マグニチュード7程度
- 30年以内の発生確率：70%程度

南海トラフ地震

- マグニチュード8～9クラス
- 30年以内の発生確率：80%程度

→ 広範囲において**橋梁構造物に大きな被害**が生じる恐れがある



一般財団法人
首都高速道路技術センター
Shutoko Technology Center

内閣府 防災情報のページ <https://www.bousai.go.jp/kyoiku/hokenkyousai/jishin.html>

-6-

【①背景】従来技術の課題点

- 支承部の従来の補強方法：L2地震動で設計された支承に交換

→ 施工が大掛かりでコストも高い

支承交換の一般的な作業手順

- 下部構造にジャッキを設置するためのブラケットの設置
- ジャッキアップ箇所の桁のリブ補強
- 既設アンカーボルトの切断／溶接部の除去
- 既設支承の撤去および新設支承の設置
- 全支承交換後の反力分配の調整



ガウジングで溶接部を除去



既設支承の撤去



撤去後の仕上げ



新設支承の設置後

【①背景】首都高速道路のBP支承の現状

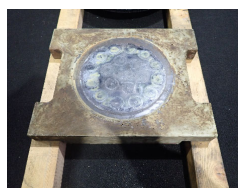
- レベル1地震動で設計されたBP支承の個数：2万個以上
 - レベル2地震動の照査に満足しないが，経年劣化による部材の損傷などが特に見られない
- 既設BP支承が再利用可能と考えられる



川口線



耐震補強でBP-A支承を撤去



上沓下面



ベアリング上面



下沓



ベアリング下面

摩擦係数

- 実験値：0.06～0.08
- 設計値：0.15

【②目的】背景のまとめと開発目的

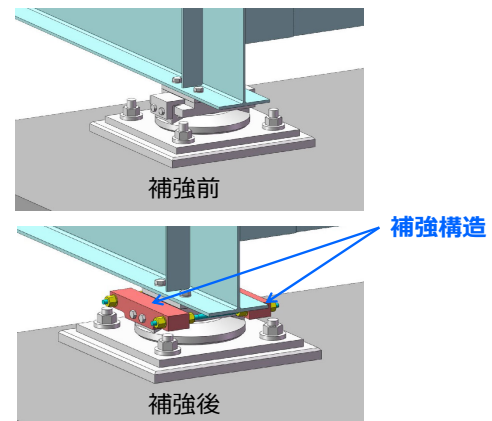
背景のまとめ

- レベル2地震時に、レベル1地震動で設計されたBP支承が損傷
- 首都直下地震・南海トラフ地震等の巨大地震が切迫
- 従来の支承部の耐震補強はコストが高く、耐震補強事業が進まない
- 既設のBP-A支承は経年劣化による損傷が特になく、再利用が可能



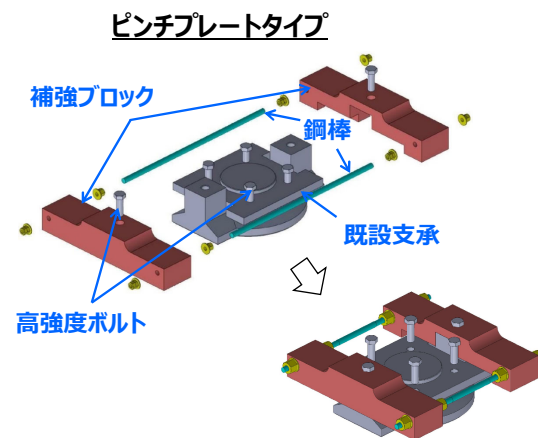
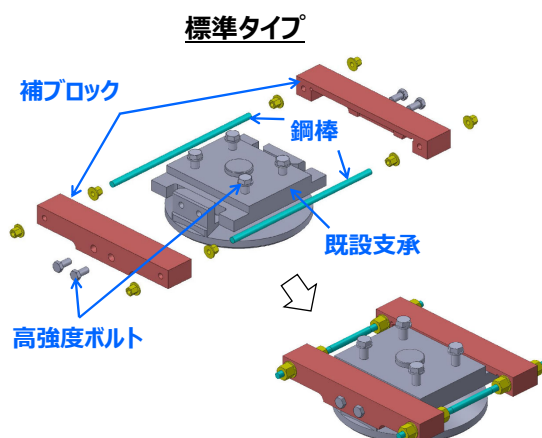
開発目的

- 既設支承を活かし、低コストで施工しやすいBP支承の補強構造を開発



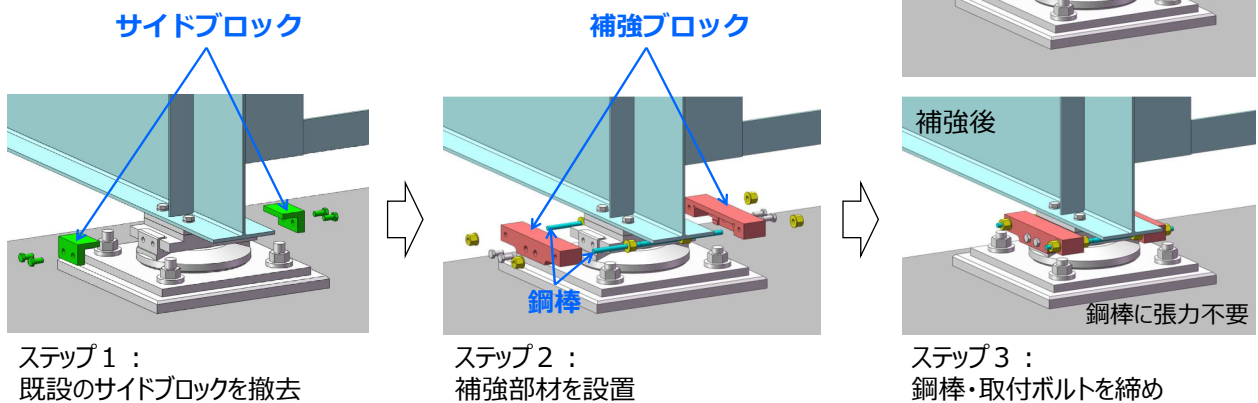
【③開発】補強構造の概要，開発の考え方

- 構成：補強ブロック，鋼棒，高強度ボルト
- 狙い：既設支承の耐力補強およびクリティカル部材の過大な塑性変形の抑制
- 前提：既設部材と新設部材の一定の塑性化を許容



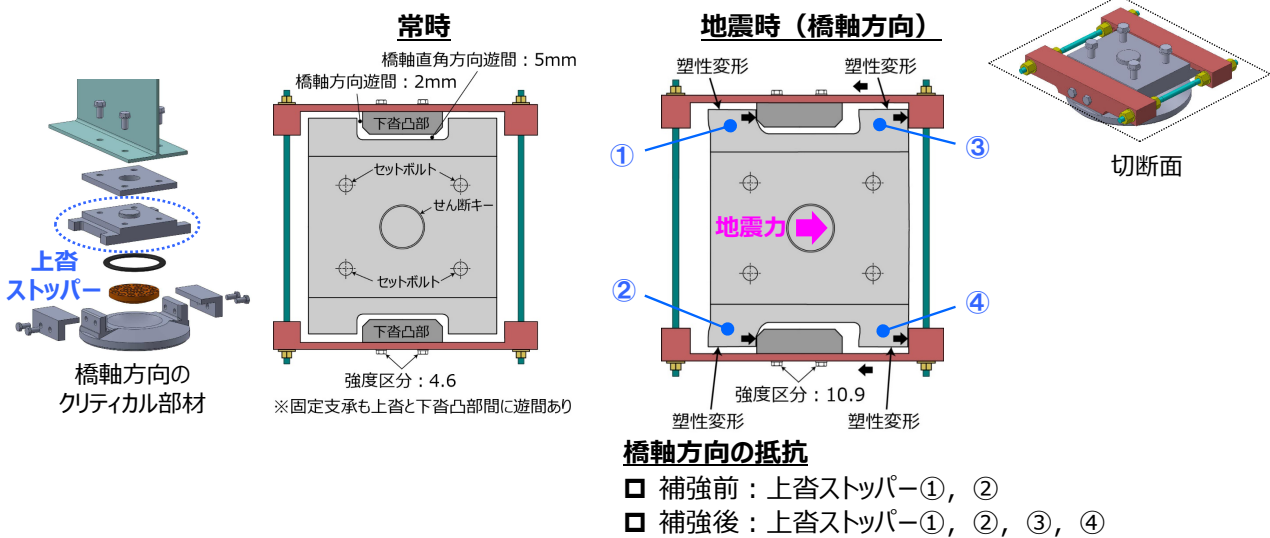
【③開発】補強構造の設置のイメージ

- 3ステップで設置可能
- 桁のジャッキアップが不要



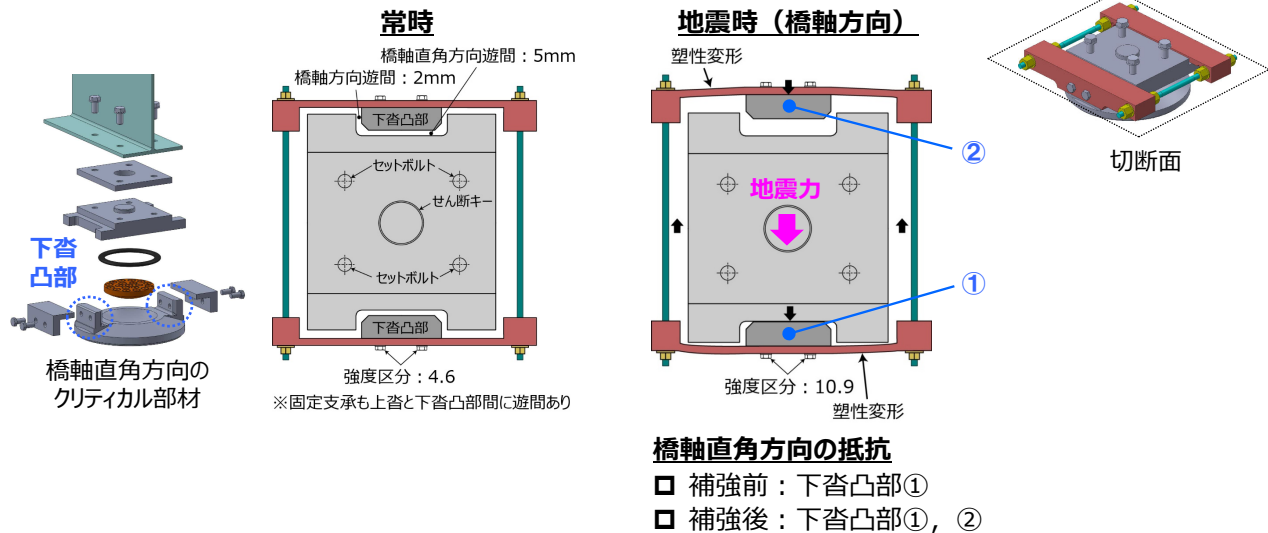
【③開発】補強のメカニズム（橋軸方向）

- 橋軸方向の耐力の向上，上沓ストッパーの過大な塑性変形の抑制



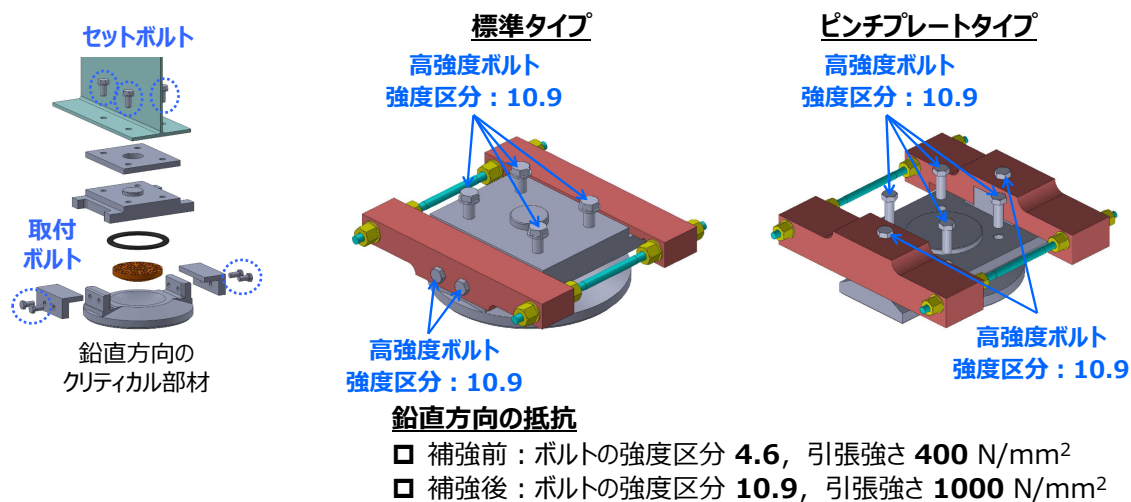
【③開発】補強のメカニズム（橋軸直角方向）

- 橋軸直角方向の耐力の向上，下沓凸部の過大な塑性変形の抑制



【③開発】補強のメカニズム（鉛直方向）

- 鉛直方向の耐力の向上，ボルトの損傷の低減
- ただし，ボルト径や本数を増加しないため，耐力の向上に限界がある



【③開発】補強メカニズムのまとめ

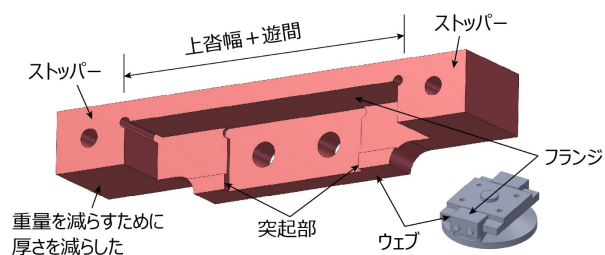
補強前後の抵抗部材

	橋軸方向	橋軸直角方向	鉛直方向
補強前	□ 後方の上沓ストッパー	□ 前方の下沓凸部	□ ボルト：強度区分4.6
補強後	□ 後方の上沓ストッパー □ 前方の上沓ストッパー □ 補強ブロック □ 補強ブロックの取付ボルト	□ 前方の下沓凸部 □ 後方の下沓凸部 □ 補強ブロック □ 鋼棒	□ ボルト：強度区分10.9

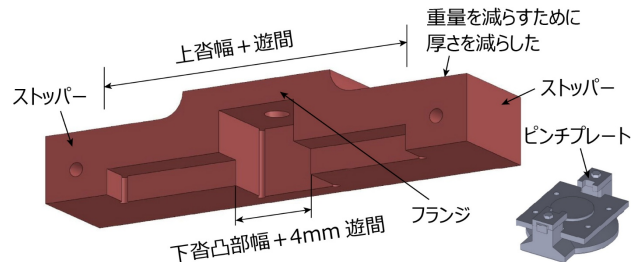
【③開発】補強ブロック形状寸法

- 補強ブロックの形状寸法は、既設支承部材の形状寸法に合わせて決定

標準タイプ



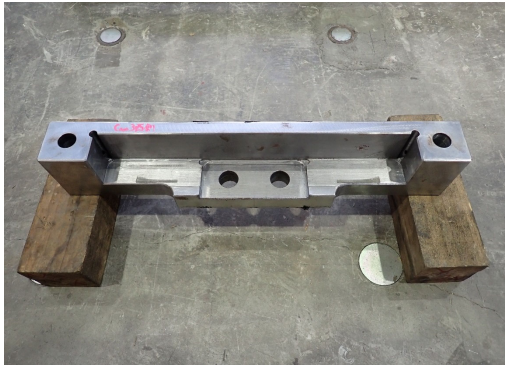
ピンチプレートタイプ



部位	形状寸法（材質：SM490A）
ウェブ、フランジ	ウェブ高，フランジ幅，板厚：既設サイドブロック・ピンチプレートと同じ
ストッパー間の幅	固定支承：上沓幅+4mm 可動支承：上沓幅+移動量+4mm
ストッパー	長さ：上沓ストッパーと同じ 厚さ：上沓下面からはみ出ない

【③開発】補強ブロックの重量

標準タイプ



- 200t支承：約40kg
- 首都高速道路のBP-A支承の約8割は200t以下である

ピンチプレートタイプ

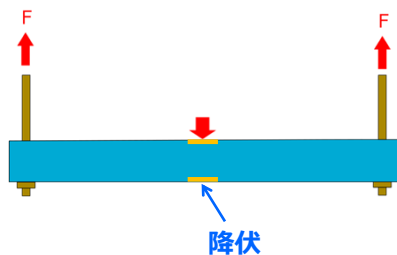


- 120t支承：約58kg
- 120tは、ピンチプレートタイプの最大反力である

【③開発】鋼棒

- 補強ブロックが降伏に達する際の鋼棒のひずみ：降伏ひずみの1/2以下
- 材質：SBPR 930/1080，B種1号，降伏強度930N/mm²以上

支承反力と鋼棒径



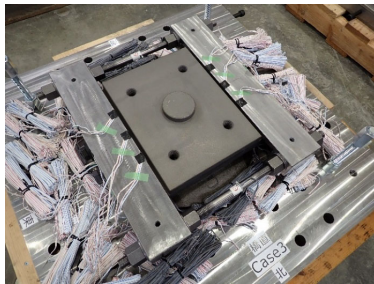
支承反力	鋼棒径
50t	Φ17
60 t	Φ17
80 t	Φ19
100 t	Φ19
125 t	Φ21
150 t	Φ21
175 t	Φ21
200 t	Φ21
225 t	Φ21
250 t	Φ23

支承反力	鋼棒径
300t	Φ23
350t	Φ26
400t	Φ26
450t	Φ26
500t	Φ29
550t	Φ29
600t	Φ29
700t	Φ32
800t	Φ36
900t	Φ40
1000t	Φ40

【④確認】補強効果の確認の概要

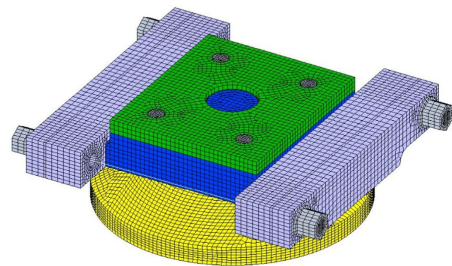
載荷実験

- 80t支承 ← 首都高での数量が多いこと、試験機の載荷容量の関係
- 可動支承 ← 補強前後の損傷形態の変化が明確で、補強メカニズムを検証しやすい
- 単調載荷、正負交番繰返し載荷



三次元FEM解析

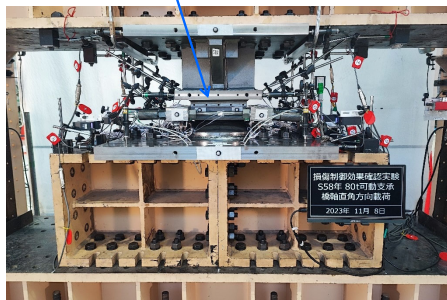
- 80t支承 ← 解析手法の検証
- 350t支承 ← 解析時点で現場に適用する予定の支承の中の最大反力
- 継続検討中（大反力、セットボルトに高強度ボルトを用いる場合、など）



【④確認】載荷実験の概要

- 標準タイプ、80t
- ピンチプレートタイプ、80t
- 鉛直荷重 + 水平荷重

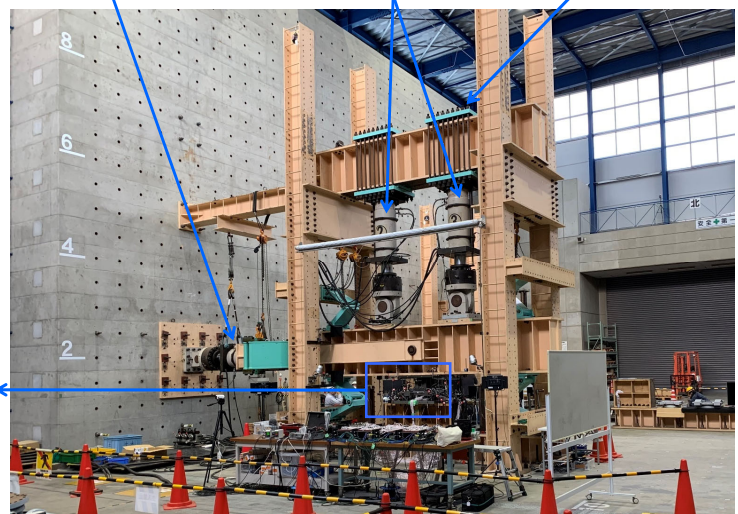
供試体



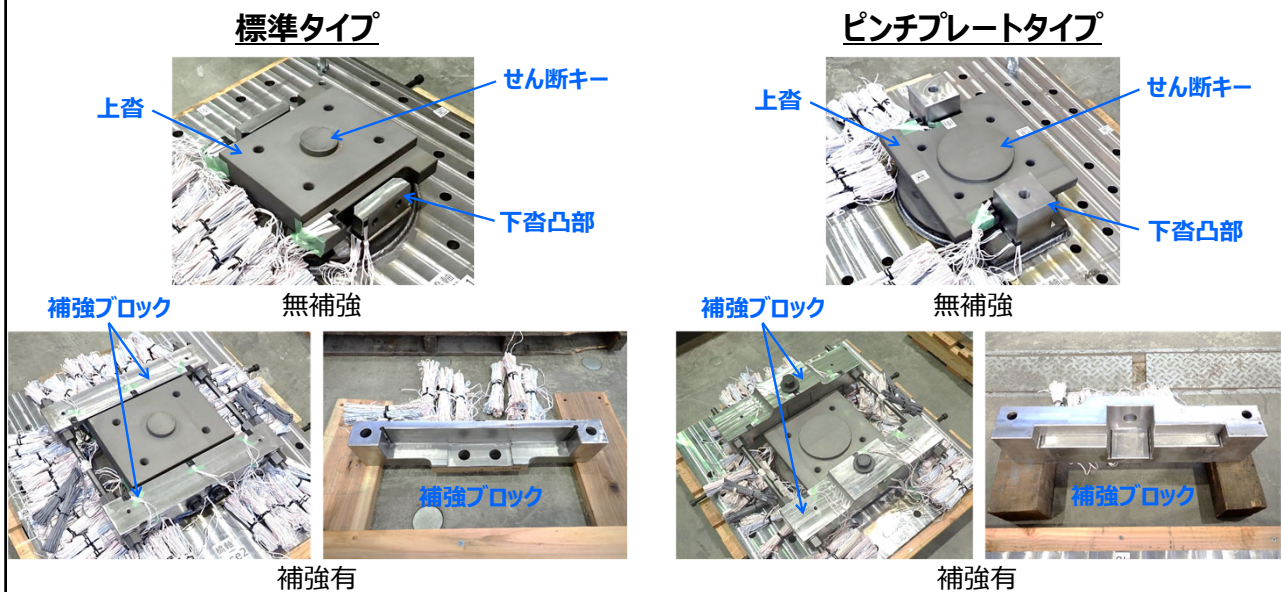
水平載荷ジャッキ

鉛直載荷ジャッキ

転がり支持

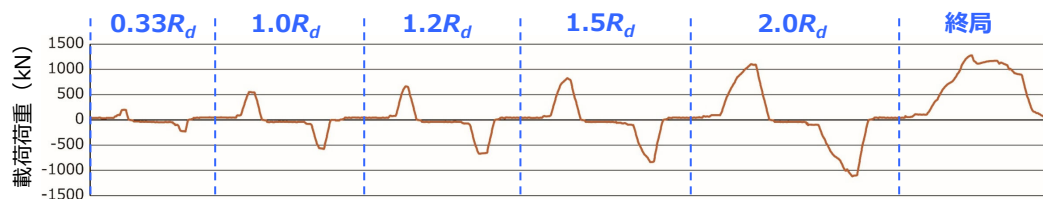


【④確認】 供試体



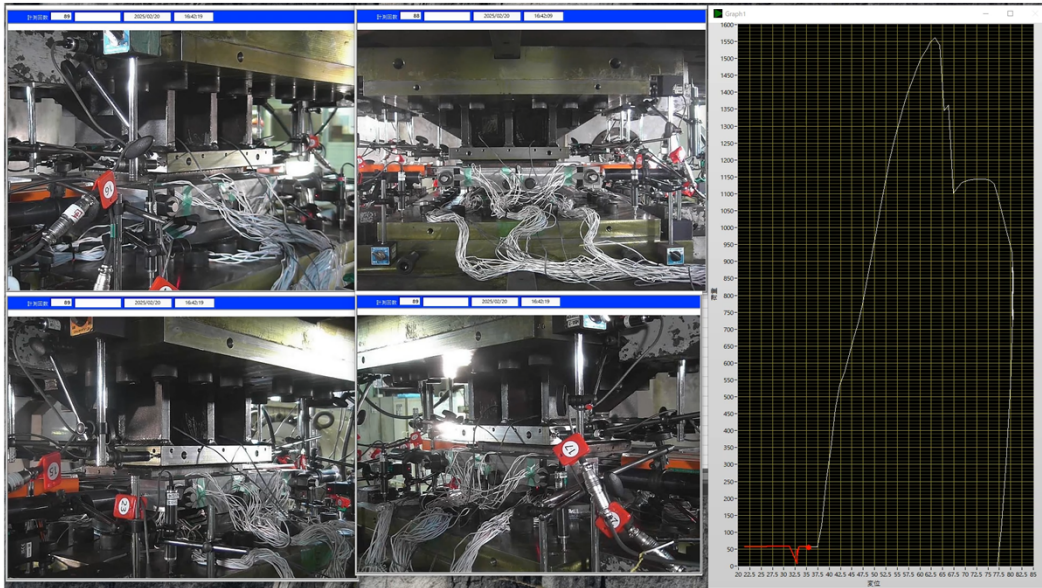
【④確認】 実験ケース

No.	補強 有無	セットボルト 強度区分	载荷 方向	水平载荷方法 ($R_d = 80t \times 9.8 \times 0.7 = 549kN$)	備考
1	無	4.6	橋軸	• 単調载荷	• 標準タイプ
2	無	4.6	橋軸直角		
3	有	4.6	橋軸	• 正負交番繰返し载荷, 载荷サイクル: 1 • 载荷ステップ: $0.33R_d \rightarrow 1.0R_d \rightarrow 1.2R_d \rightarrow 1.5R_d \rightarrow 2.0R_d \rightarrow$ 終局	• ピンチプレート タイプ
4	有	4.6	橋軸直角		
5	有	10.9	橋軸	• 単調载荷	• 標準タイプのみ
6	有	10.9	橋軸直角		



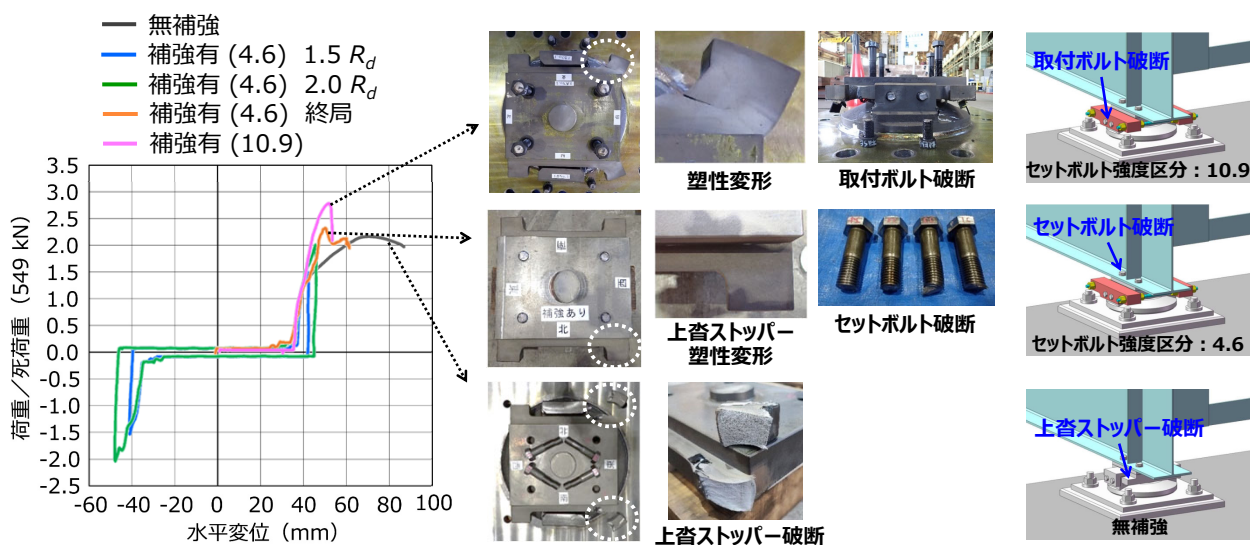
载荷荷重の時刻歴（標準タイプ，補強供試体，橋軸方向载荷）

【④確認】 載荷状況（セットボルト強度区分：10.9，橋軸方向載荷）



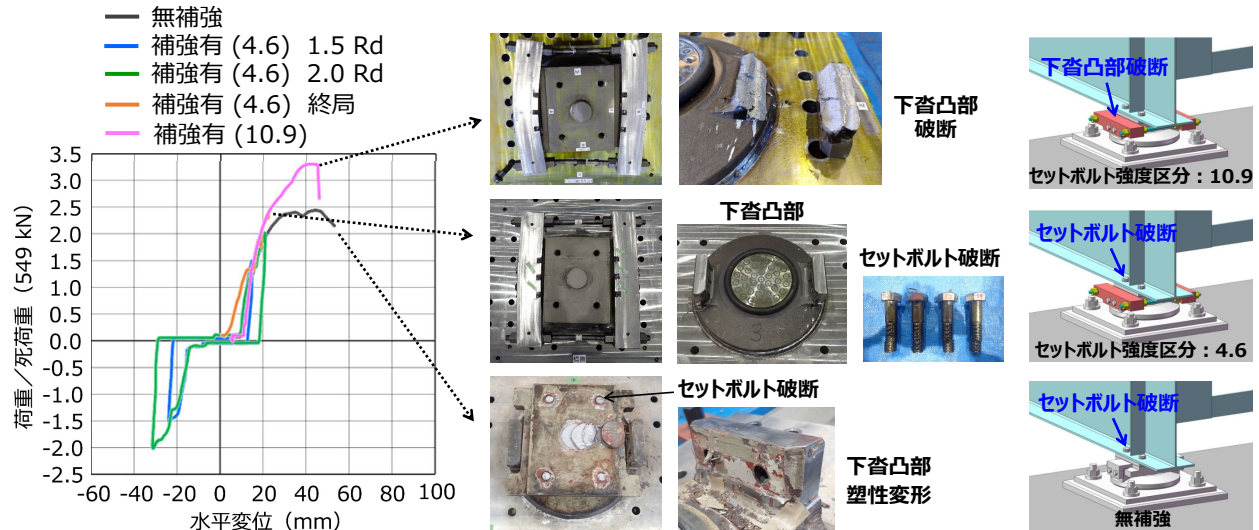
【④確認】 実験結果（標準タイプ，橋軸方向）

- 補強後の支承の水平耐力の増加，クリティカル部材の塑性変形の抑制効果が確認



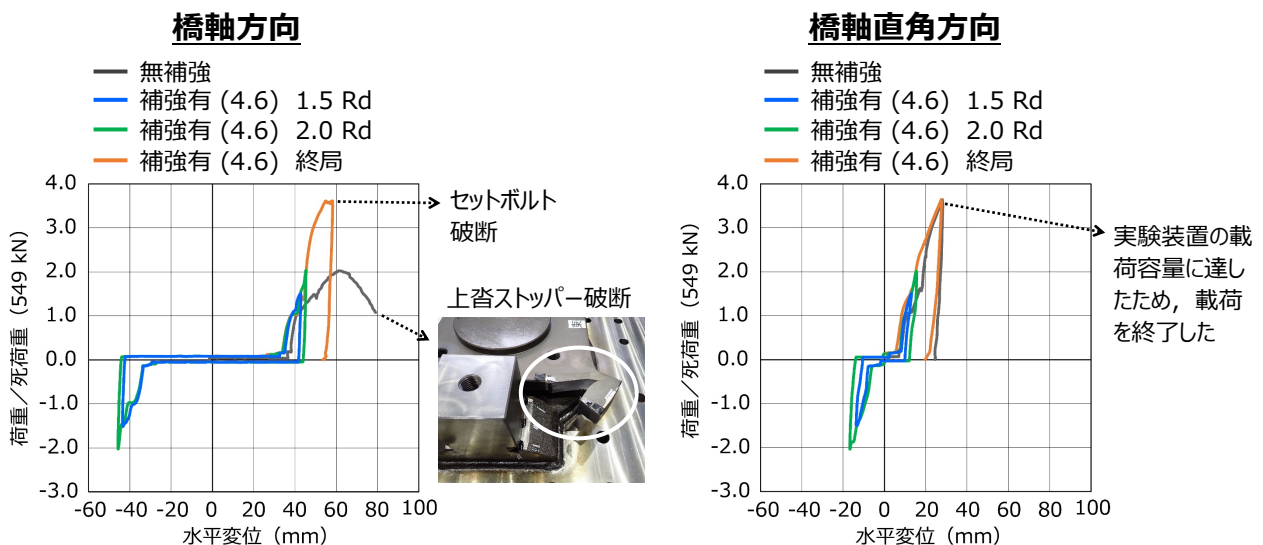
【④確認】実験結果（標準タイプ、橋軸直角方向）

- 補強後の支承の水平耐力の増加，クリティカル部材の塑性変形の抑制効果が確認



【④確認】実験結果（ピンチプレートタイプ）

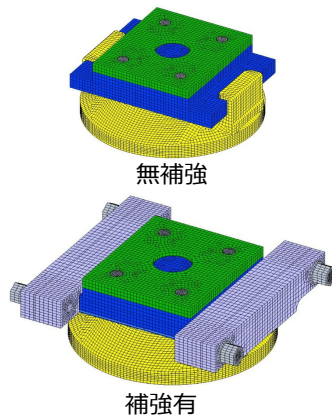
- 補強後の支承の水平耐力の増加，クリティカル部材の塑性変形の抑制効果が確認



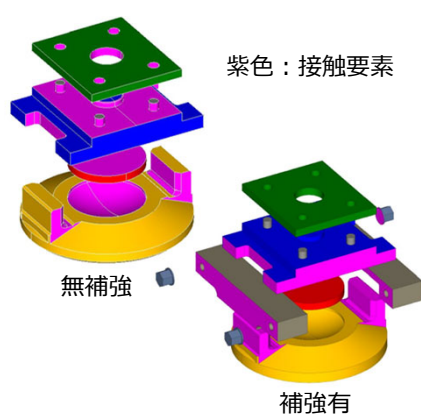
【④確認】補強効果の解析的検討の概要

- 解析方法：三次元弾塑性FEM解析
- 主な工夫点：接触要素を用い、主要部材間の接触・分離・すべりなどの非線形挙動を再現
- 検討手順：80t支承で解析手法の有効性を確認した後、350t固定支承の解析を実施

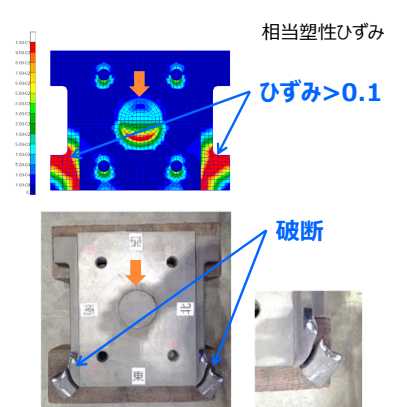
解析モデル（80t支承）



接触要素の設置状況



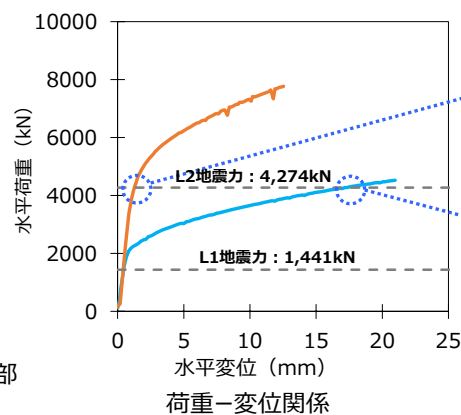
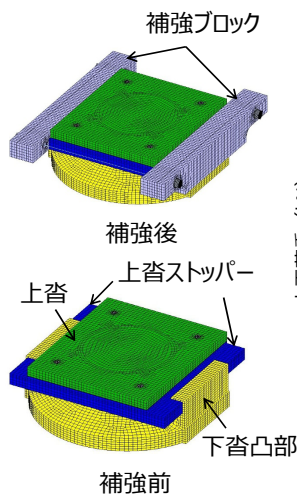
80t支承の解析結果と実験結果の比較



【④確認】350t固定支承の補強効果の解析的検討

- 補強前後の水平耐力と損傷形態の比較より、補強構造による補強効果が発揮できていることを確認

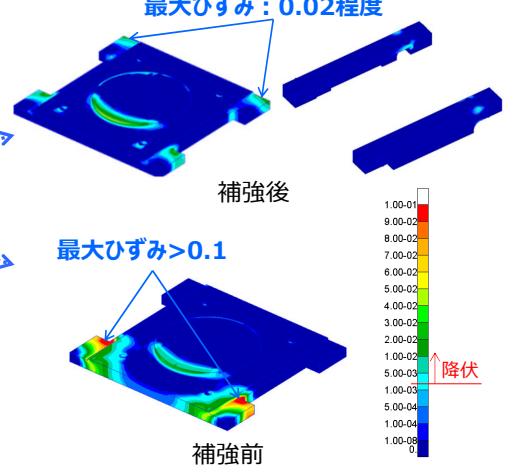
350t支承の橋軸方向



コンター図：相当塑性ひずみ

最大ひずみ：0.02程度

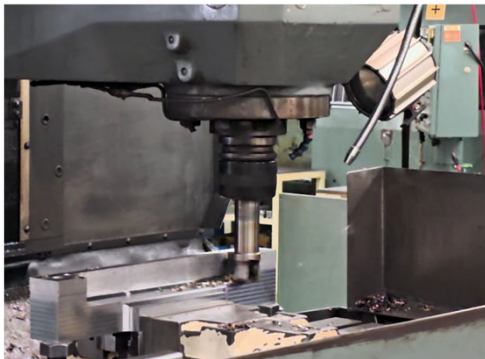
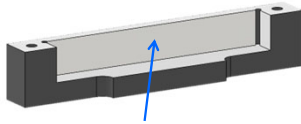
最大ひずみ>0.1



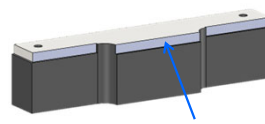
【⑥製作】補強ブロックの製作工程

- 圧延鋼材（SM490A）をガス溶断で切り出し、機械加工によって図面寸法に切削

標準タイプ



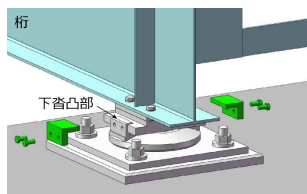
ピンチプレートタイプ



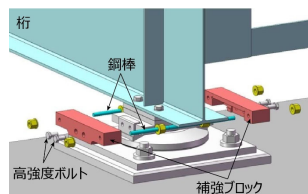
【⑦施工】施工手順

- 3ステップ：既設サイドブロックの撤去，補強部材の設置，鋼棒の締め付け
 - ジャッキアップ，部材の補強，支承間の反力分配調整などが不要
- 従来工法より，施工時間もコストも大幅に低減可能

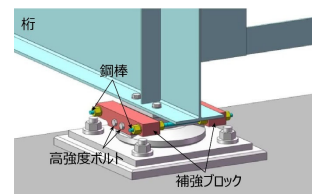
本技術の施工手順



既設サイドブロックの撤去



補強部材の設置



鋼棒の締め付け

従来の支承交換の施工手順

ジャッキアップ用の
ブラケットの設置

ジャッキアップ箇所
の桁のリブ補強

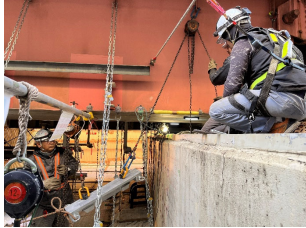
既設アンカーボルトの
切断／溶接部の除去

既設支承の撤去およ
び新設支承の設置

全支承交換後の
反力分配の調整

【⑦施工】 施工状況写真

- 施工場所：川口線，施工者：川田建設株式会社



現場への搬入



既設サイドブロックの撤去



補強ブロックの設置



鋼棒の設置



設置完了後（右側）

【⑦施工】 補強構造設置前後の支承の状況

- 2024年8月～12月：首都高速道路川口線のBP-A支承 40 基に施工
- 1 基あたりの設置時間：3 時間程度
- 概算工事コスト：支承交換の 3 割程度

サイドブロック



設置前

補強ブロック

鋼棒



設置後

まとめ、今後の展望

まとめ

- **低コストで施工しやすいBP支承の補強構造**を提案し、載荷実験と三次元FEM解析を用いて補強構造の補強効果を確認した
- 補強構造を設置することによって、**支承耐力の向上**、**クリティカル部材の塑性変形の抑制**などの補強効果が確認できた
- 実務設計における**耐力の評価方法**を検討した

今後の展望

- BP支承：首都高速道路だけでも2万個以上、全国の橋梁に数多く存在
- 本技術を適用することによって、支承交換より少ないコストと期間で、広範囲の補強が期待できる

ご清聴ありがとうございました

