

令和3年度土木研究所講演会

激甚化する災害に対する橋の守り方と 3次元デジタル計測技術の活用

～リスクマネジメントによる想定外の克服を目指して～

構造物メンテナンス研究センター

橋梁構造研究グループ長 星隈 順一 <R3.7.1～>

元 同センター上席研究員(耐震) <H21.4.1～H28.3.31>



講演の内容

- 真の姿が見えない「地震の影響」に対する橋の構造設計の戦略
- シナリオデザイン設計法の研究開発
- 断層変位の影響を受ける新阿蘇大橋の設計への反映
- 大地震に対する橋のレジリエンス強化と3次元デジタル技術の活用の展望

講演の内容

- 真の姿が見えない「地震の影響」に対する橋の構造設計の戦略
- シナリオデザイン設計法の研究開発
- 断層変位の影響を受ける新阿蘇大橋の設計への反映
- 大地震に対する橋のレジリエンス強化と3次元デジタル技術の活用の展望

真の姿が見えない「地震の影響」との戦い

技術者の4つの「想定外」の克服 → 真の国土強靱化

- 想定できなかった「想定外」
- 考えなかった「想定外」
- あきらめの「想定外」
- 見過ごしの「想定外」



歌津大橋(2011年東北地方太平洋沖地震で発生した津波の影響による上部構造の流出)



阿蘇大橋(2016年熊本地震で発生した斜面崩壊の影響による崩壊)

被災メカニズムの分析を通じてヒントを見つける

- 地震の影響による被災メカニズムを分類化していく中で、同じ機能損失に至った被災であっても機能挽回が早期に可能な壊れ方の方がベターだと着想
- リスクに対して守るべき部材と破壊させる部材を明確化し、想定外の作用に対して設計者が意図した想定どおりの壊し方となることを目指せないか

津波の影響に対する橋の破壊形態 (2011年東北地方太平洋沖地震)



地盤変状の影響に対する橋の破壊形態 (2016年熊本地震)



「想定外の損傷」から「想定通りの損傷」への戦略

過去の震災経験・教訓に基づく危機からの回避

- 地形・地質・地盤条件に応じた路線計画と橋の構造計画
- 構造特性上落橋しにくい橋の構造計画
- 速やかな橋の機能挽回性に影響を及ぼすリスクの回避

その上で

「賢く壊す」破壊のマネジメントによりレジリエンスも向上

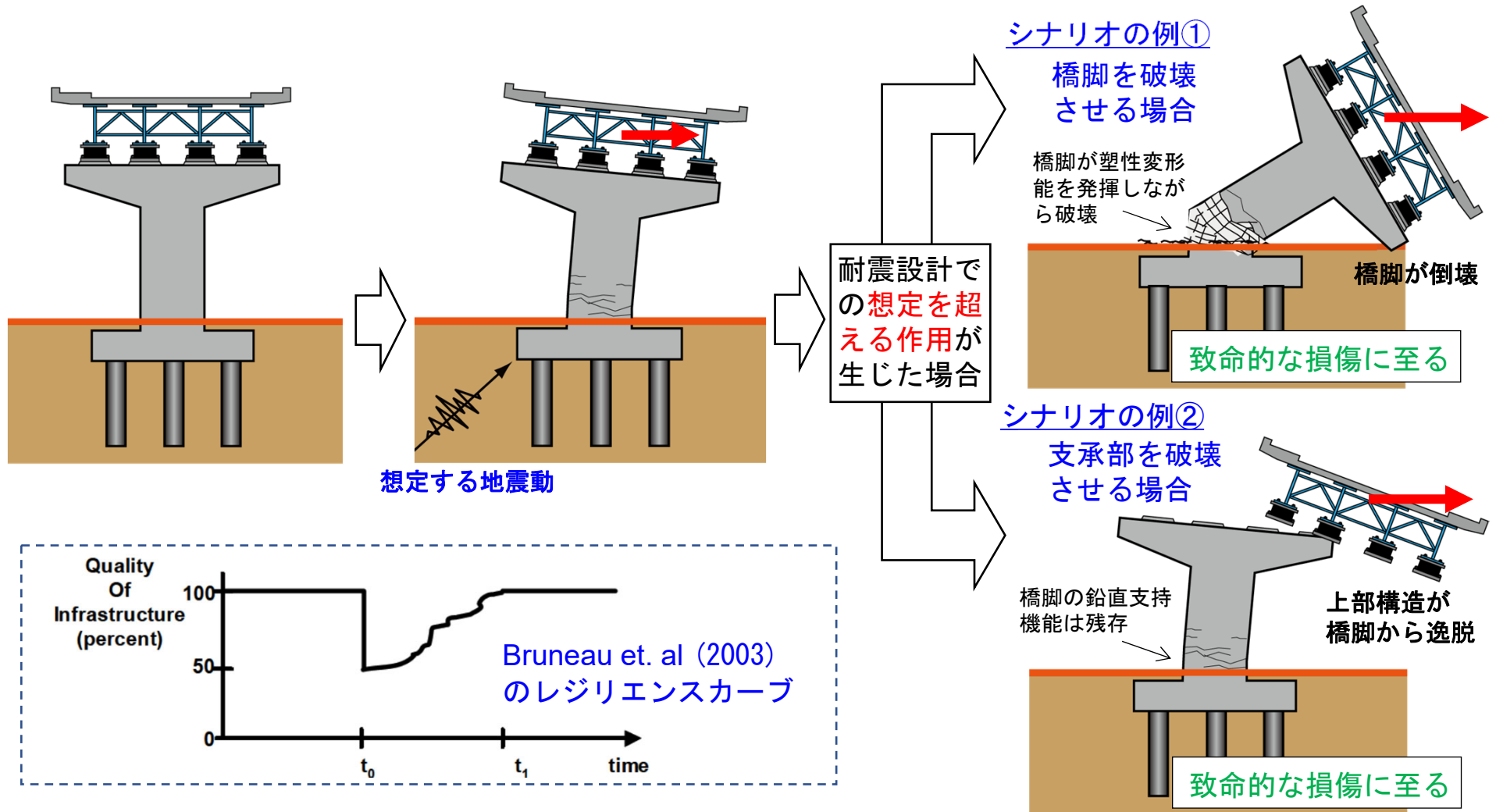
- 落橋・倒壊，第三者被害等の「危機」へのシナリオと、「危機」からの機能挽回シナリオ
→ 「危機」に至りにくいシナリオの構造、機能挽回しやすいシナリオの構造に誘導していくことが重要
- そのシナリオの确实性を高めるための損傷制御設計技術（部材内・部材間耐力の階層化）、機能挽回のための応急復旧技術をセットで構築

講演の内容

- 真の姿が見えない「地震の影響」に対する橋の構造設計の戦略
- シナリオデザイン設計法の研究開発
- 断層変位の影響を受ける新阿蘇大橋の設計への反映
- 大地震に対する橋のレジリエンス強化と3次元デジタル技術の活用の展望

2つの「R」で損傷シナリオを考える

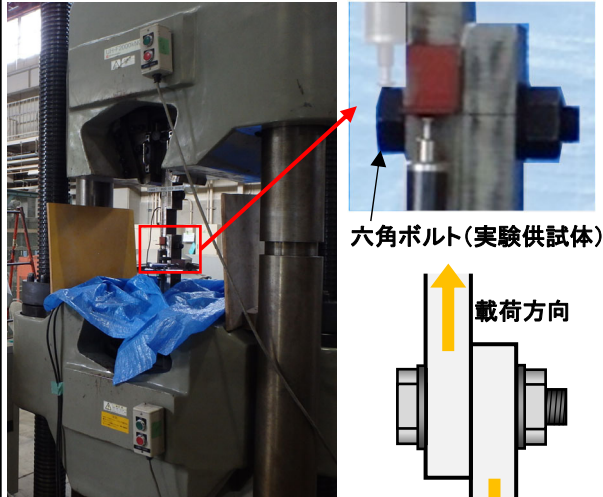
○橋の立地条件を踏まえ、リスク要因に対して落橋・崩落に至りにくく(Redundancy)、かつ機能挽回がしやすい(Resilience)シナリオとその実現に適した橋の構造を計画



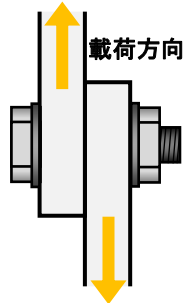
部材間での耐荷力の階層化設計法の技術開発

＜「支承」を破壊させる部材として損傷シナリオを設定する場合＞

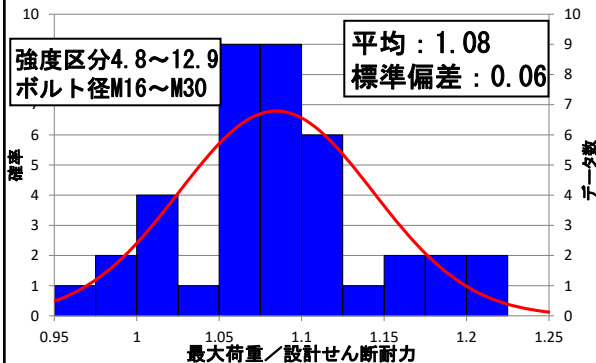
支承を構成する部材の耐荷力のばらつき検証



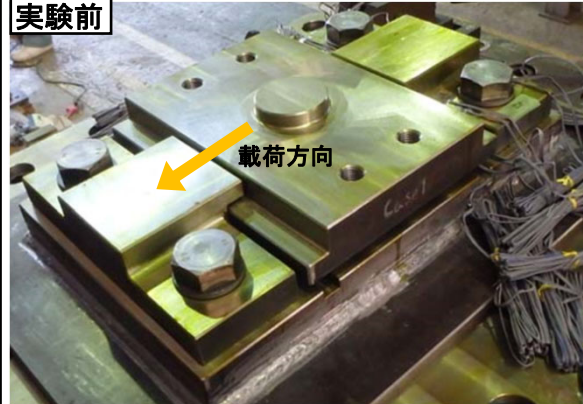
六角ボルト(実験供試体)



万能試験機を用いた六角ボルトのせん断荷重実験



支承本体に対する損傷制御の検証

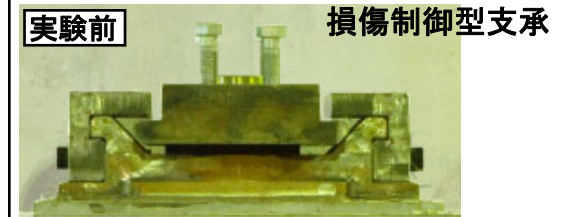


支承としての最終的な破壊形態の信頼性確保(部材内での制御)

橋脚-支承系における損傷制御の検証



実橋の1/2スケールの模型による検証実験
(津波の影響によって生じる力に対する検証)



複数部材で構成される系での最終的な破壊形態の信頼性確保

講演の内容

- 真の姿が見えない「地震の影響」に対する橋の構造設計の戦略
- シナリオデザイン設計法の研究開発
- **断層変位の影響を受ける新阿蘇大橋の設計への反映**
- 大地震に対する橋のレジリエンス強化と3次元デジタル技術の活用の展望

新阿蘇大橋の架橋位置の計画

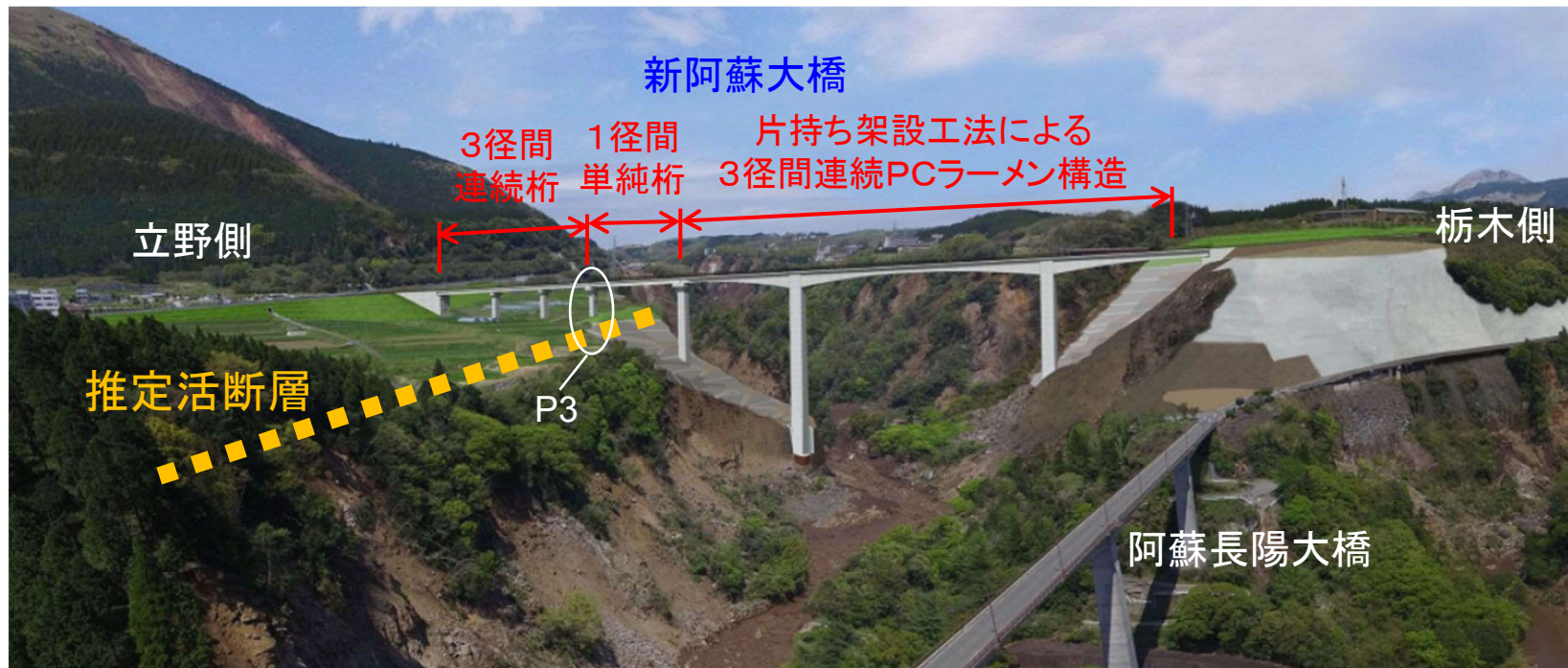
ルート・構造の選定の基本方針

- 今回の震災を踏まえて安全性が高いルート
- 可能な限り早期に復旧可能
- 阿蘇観光の玄関口としての機能確保
- 地域間交流の保持(南阿蘇村の地域分断の解消)



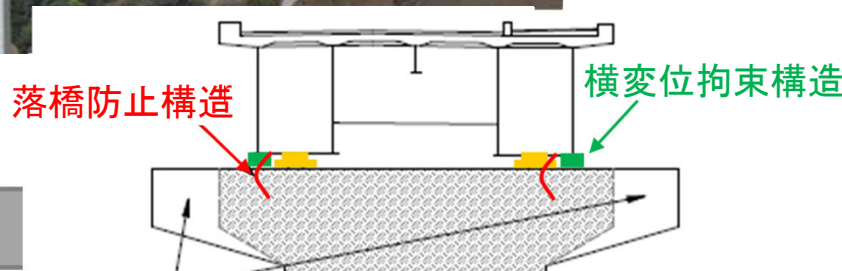
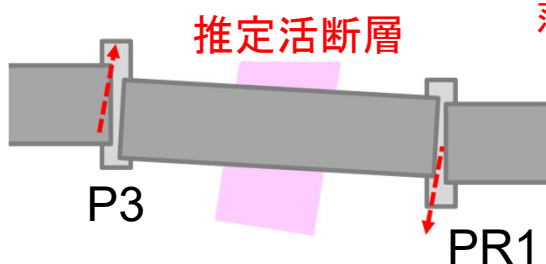
構造計画段階における断層変位の影響への配慮方針

- 断層変位とその向き、生じる位置は橋への作用として不確実性が高いため、耐震設計で考慮している各部材の状態が想定を超えるリスクを考慮し、致命的な崩落に至りにくく、かつ、機能回復措置が可能な破壊形態となるように橋を制御
- 活断層を跨ぐ区間は支間長を長くした単径間構造とし、断層変位に対して最終的に支承を破壊させて断層変位を受け流す損傷シナリオを設定した上で、多重の落橋防止対策を実施
- 阿蘇長陽大橋の震災経験に学び、復旧が容易にはできないV字谷を跨ぐ渡河部は片持ち架設工法によるPCラーメン橋を採用し、隣接する単径間橋の挙動の影響を受けないように端部構造にも配慮
- さらに、機能回復シナリオを設定し、その措置がしやすくなるように設計段階から配慮



【参考文献】: 星隈順一, 今村隆浩, 宮原史, 西田秀明: 新阿蘇大橋の性能に及ぼす地盤変状の影響を小さくするための構造的な配慮と工夫, 土木学会論文集A1(構造・地震工学), Vol.77, No.2, pp.339-355, 2021.

支承による橋の損傷制御と落橋防止対策の強化



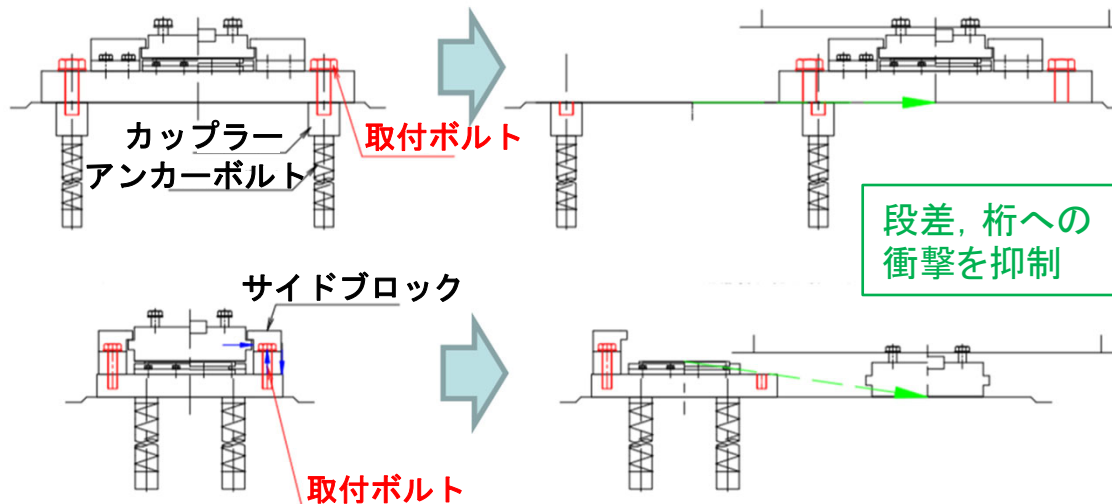
橋軸及び橋軸直角方向に拡幅した頂部



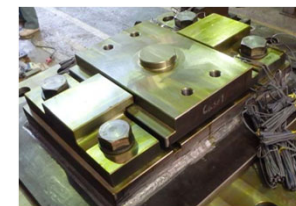
断層交差部の落橋防止対策

破壊部位を下沓取付ボルトに誘導

⇒ 支承を構成する部材間でも耐荷力を階層化



土研での研究
成果を活用



〔破壊させない部材の設計水平力〕

$$= \left[\text{破壊を先行させる部材の設計水平力} \right] \times 1.3$$

講演の内容

- 真の姿が見えない「地震の影響」に対する橋の構造設計の戦略
- シナリオデザイン設計法の研究開発
- 断層変位の影響を受ける新阿蘇大橋の設計への反映
- 大地震に対する橋のレジリエンス強化と3次元デジタル技術の活用の展望

地震直後における道路橋の被災調査

平成28年熊本地震により被災した橋梁のTEC-FORCEによる調査



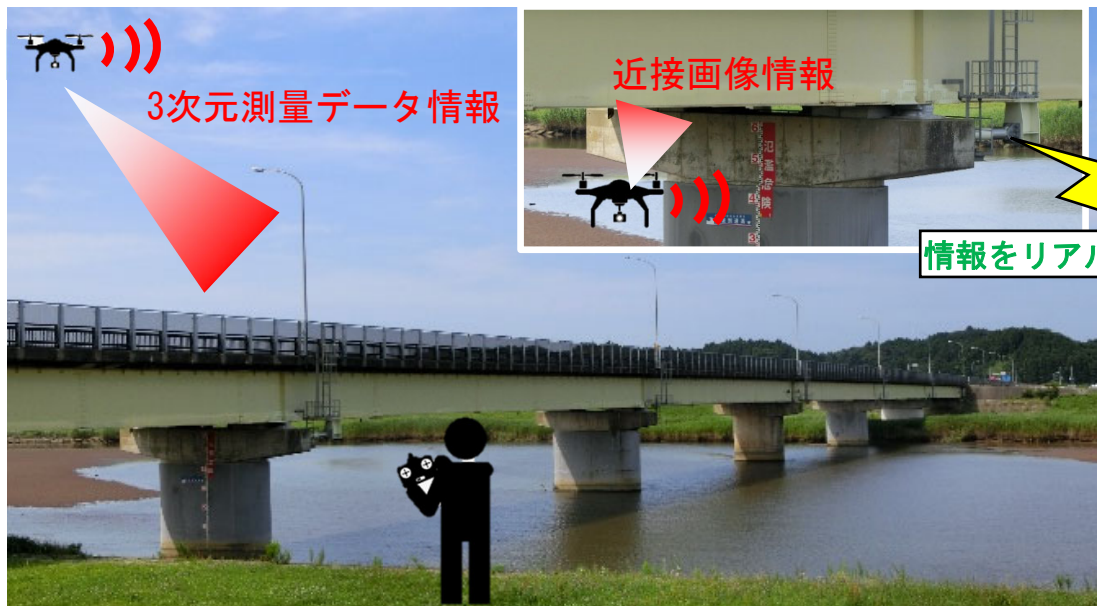
D Xの” X” : 地震後の状態把握の迅速化と質の向上

橋の被災情報と供用性の判断に必要な情報をいち早く！

- 橋のレジリエンス強化のためには、まず、大地震という突発的な事象直後に同時多発的に必要となる橋の状態把握を短時間に行うことが必要
- 機動性のあるTEC-FORCE等の調査員がUAVを活用して3次元測量データや3次元画像情報を取得することにより、従来よりも迅速かつ効率的に橋の被災情報と供用性の判断に必要な情報を取得し、リアルタイムで道路管理者と共有する活動へと転換が必要
- つくばの研究機関も、初動時のリモートによる技術支援でそれらの情報を活用



(出典)九州地方整備局HP
http://www.qsr.mlit.go.jp/site_files/file/bousai_joho/tecforce/pdf/katsudou2806.pdf



調査対象橋の現場

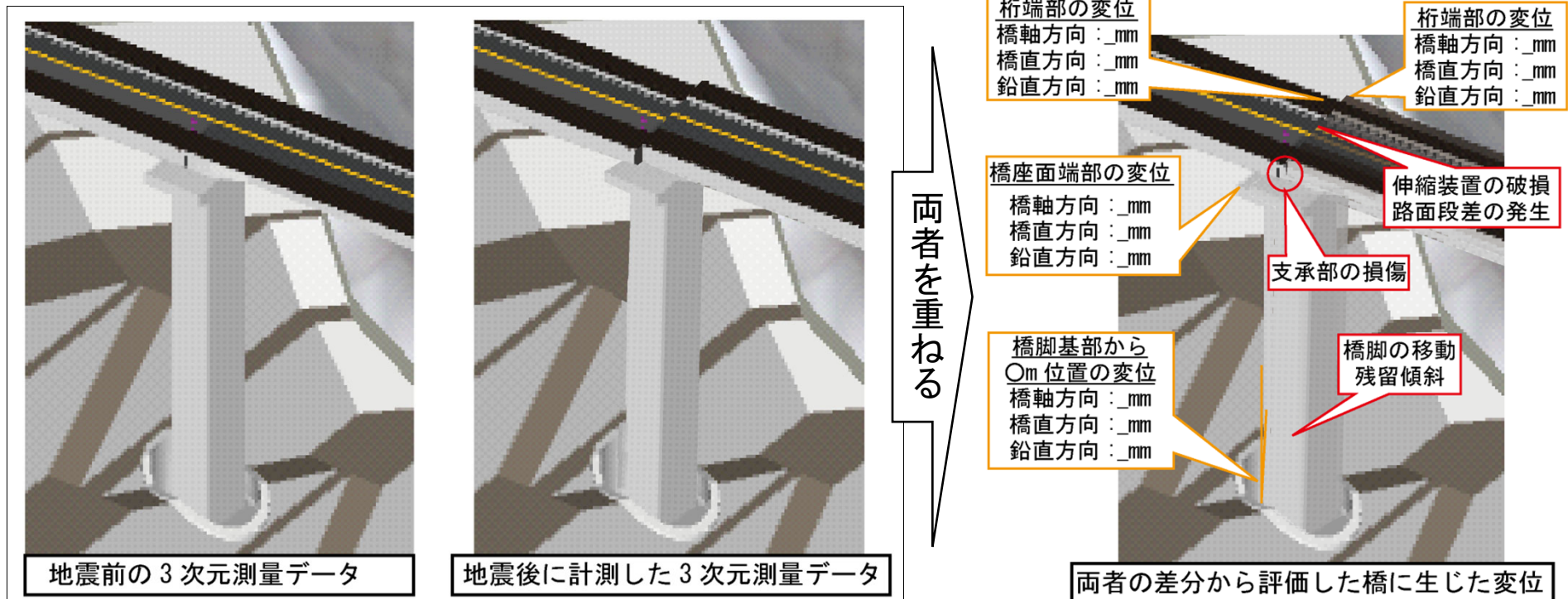


土木研究所（つくば）

DXの”X”：地震後の状態把握の迅速化と質の向上

ニーズとユースケースに基づいたシステムの技術開発

- 地震後の橋の供用性判断における3次元データの活用による質の向上
 - 地震前のデータとの差分によって橋の状態を速やかに見える化できるようにシステム構築
 - 地震前の橋の3次元測量データはBIM/CIM、点検データの管理等で作成される3次元モデル等を活用し、これらの既存モデルを地震後の橋の状態把握にも活用できるようにデータを整備
- 応急復旧を行う際の規制解除までのおよその目途を速やかに立てるための支援にも活用
 - 3次元画像情報と3次元測量データを設計業者、工事施工業者と共有し、応急復旧設計と工事に必要な人材や資機材の手配を効率的にオペレーション



今後の研究開発の展開

➤ シナリオデザイン設計法の研究開発

- リスクと橋の構造特性に応じた「シナリオ」の設定の標準化
- 部材間で確保するための耐荷力の階層化の設計基準への反映

➡ 耐力階層化係数の設定

- 既設橋への対応方法

➤ レジリエンス強化のための3次元デジタル技術の活用

- 地震による橋の状態を、地震前後における3次元デジタルデータ（測量データ、画像データ）の変化により迅速に評価するシステムの構築
- 応急復旧の設計や工事でも活用して工期短縮へ