

道路橋の支承に求められること

CAESAR 上席研究員 大住道生



国立研究開発法人 土木研究所

構造物メンテナンス研究センター

CAESAR(シーザー): Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research



講演の構成

1. 背景
2. 支承の耐荷設計
3. 支承の耐久設計
4. 支承の性能確認試験と品質管理
5. 維持管理
6. まとめ



国立研究開発法人 土木研究所

構造物メンテナンス研究センター

CAESAR(シーザー): Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research



CAESAR

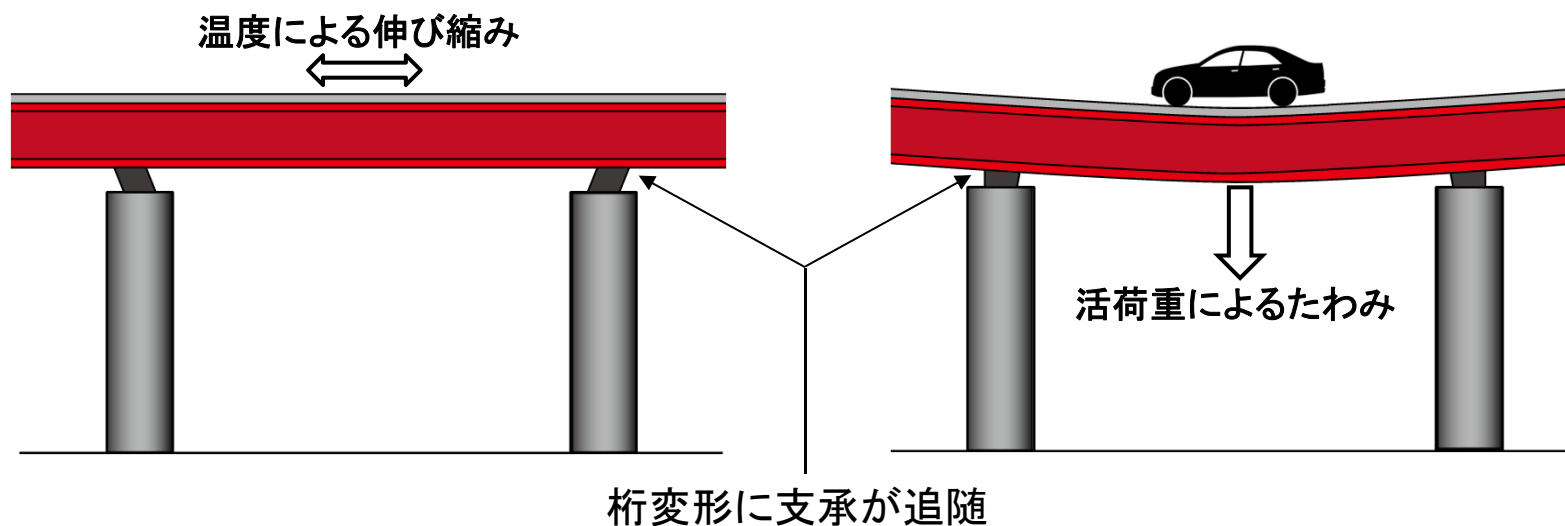
背景

支承とは？

支承(Bearing)

上部構造と下部構造との間に設置される部材で、上部構造の荷重を下部構造に伝達するための機構をもつ。

土木用語大辞典((公社)土木学会編)より



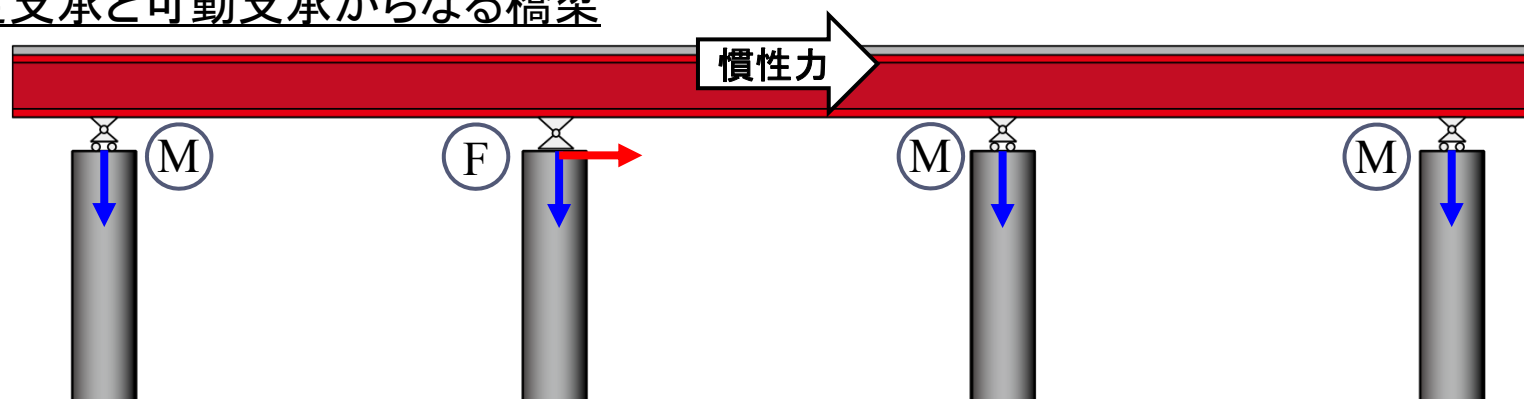
背景

支承の重要性

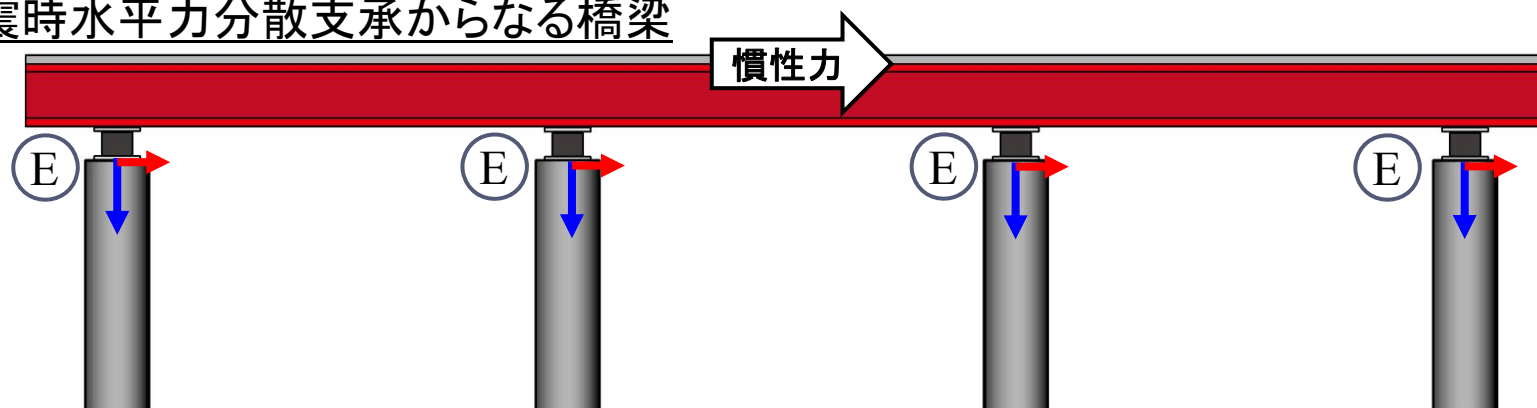
地震時の応答

→ : 水平力
→ : 鉛直力

固定支承と可動支承からなる橋梁



地震時水平力分散支承からなる橋梁



支承条件により地震時の応答が異なる



国立研究開発法人 土木研究所

構造物メンテナンス研究センター

CAESAR(シーザー): Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research



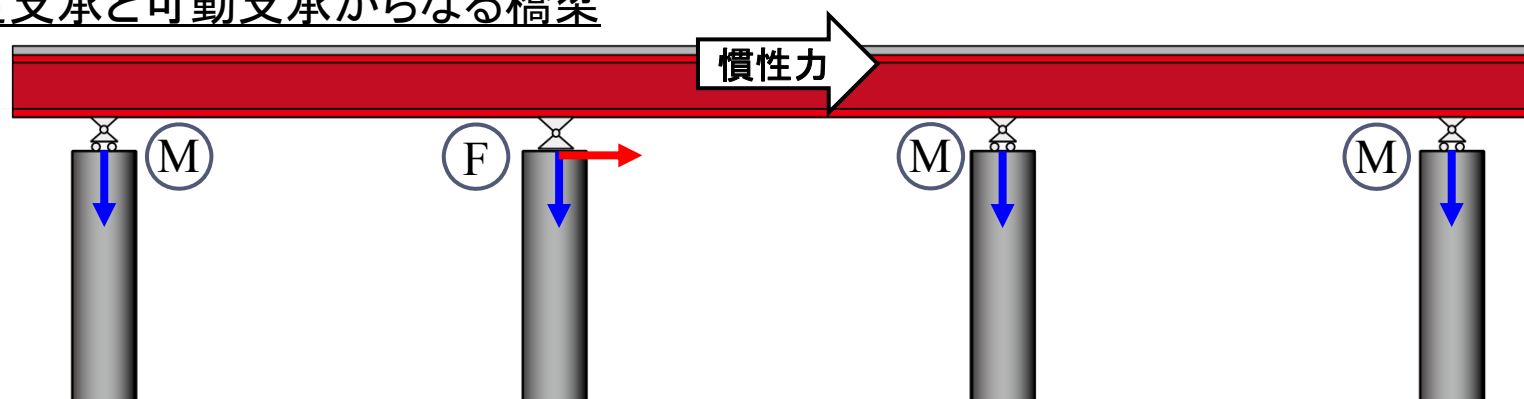
背景

支承の重要性

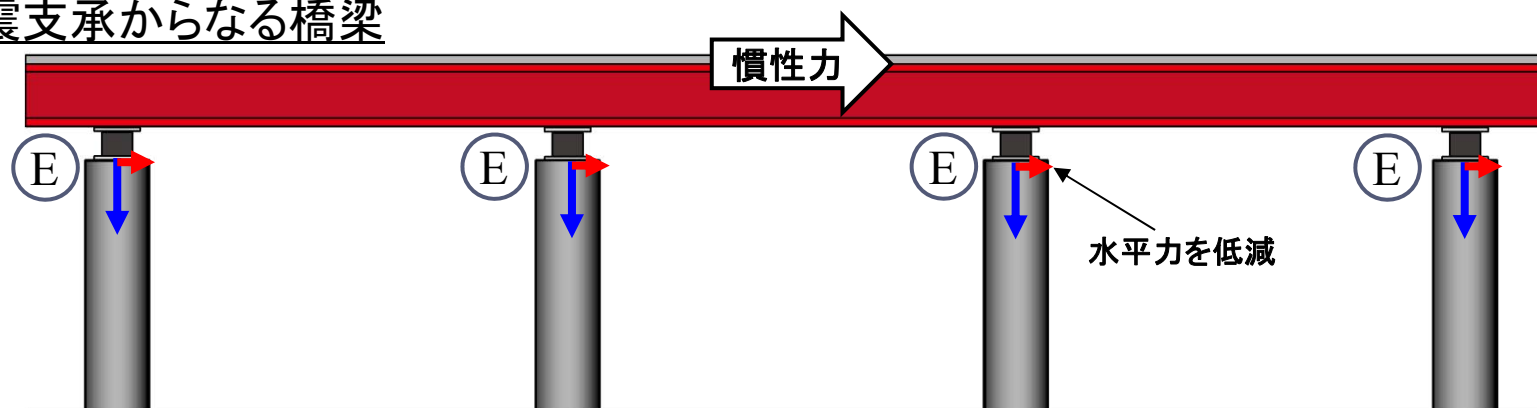
地震時の応答

→: 水平力
→: 鉛直力

固定支承と可動支承からなる橋梁



免震支承からなる橋梁



支承条件により地震時の応答が異なる



国立研究開発法人 土木研究所

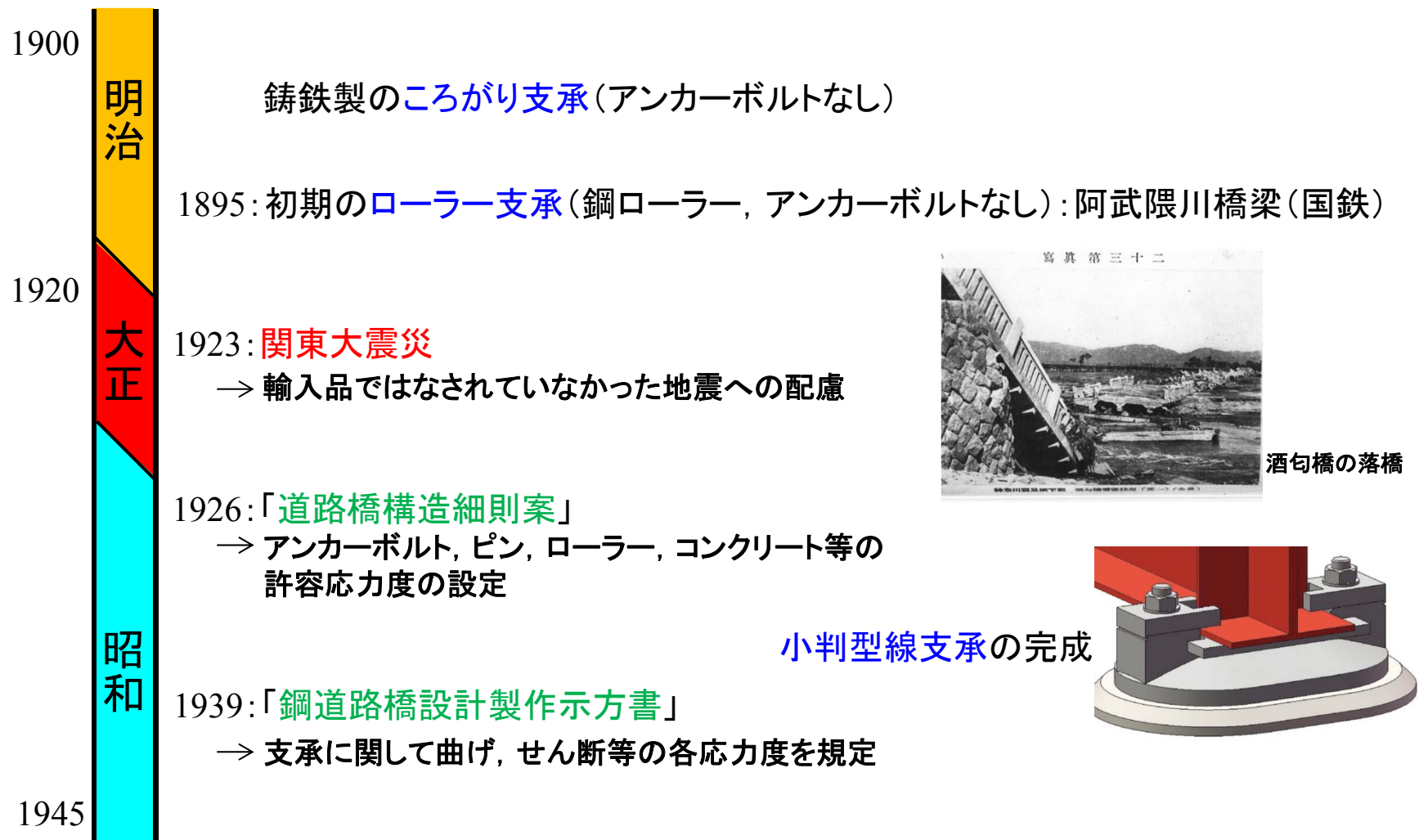
構造物メンテナンス研究センター

CAESAR(シーザー): Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research



背景

支承の歴史(明治～昭和(戦前))



国立研究開発法人 土木研究所

構造物メンテナンス研究センター

CAESAR(シーザー): Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research



背景

支承の歴史(昭和:戦後～1970)

1945

1955頃:BP・A支承の開発(より摩擦係数が低い支承の開発)

1958:国鉄大阪環状線天王寺駅舎でパッド型ゴム支承(フランスより輸入)が使用される

1960

1961:国鉄東北本線鬼怒川橋梁
クロロプレン系積層ゴム支承が使用

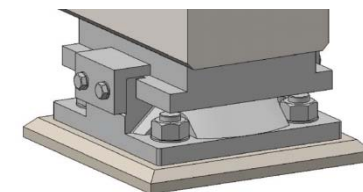


鬼怒川橋梁(ゴム支承)

昭和

1963:「鋼道路橋設計示方書」「鋼道路橋製作示方書」

1963以降:BP・A(日本製), BP・B(輸入品)支承が
高速道路などで使用され始める

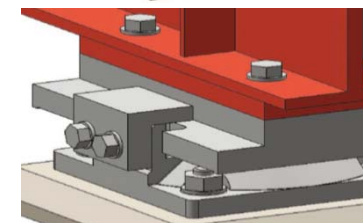


BP・A支承

1964:新潟地震
→ 液状化による被害



昭和大橋の落橋



BP・B支承

1970



国立研究開発法人 土木研究所
構造物メンテナンス研究センター

CAESAR(シーザー):Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research



背景

支承の歴史(昭和:1970~1988)

1970

1972:「道路橋耐震設計指針」

→ 支承の耐震性能明確化(移動制限装置, 縁端距離, けた間連結装置等の落橋防止構造を規定)

1972:建設省近畿地方建設局 宿院高架橋

地震時水平力分散型ゴム支承が採用(国内初)

1973:「道路橋支承便覧」

「道路橋支承標準設計(ゴム支承・すべり支承編)」

「道路橋支承標準設計(ピン支承・ころがり支承編)」



宿院高架橋
(大阪府堺市)

昭和

1978:宮城県沖地震

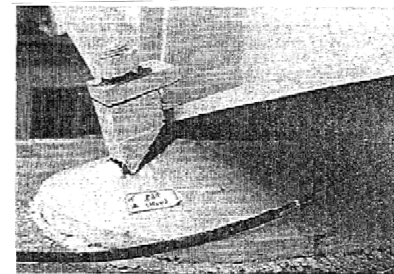
→ 下沓突起の破断, 移動制限装置の破断 等

1979:「道路橋支承便覧(施工編)」

1980

1980:「道路橋示方書・同解説」

→ 鑄鉄は主要部材に使用しないことを原則



下沓突起の破断

1982:「道路橋支承標準設計」改訂

→ 移動制限装置のR加工

1990



国立研究開発法人 土木研究所

構造物メンテナンス研究センター

CAESAR(シーザー):Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research



背景

支承の歴史(平成:1989~2000)

1990

- 1990:「道路橋示方書・同解説」改定
→ 修正震度法に一本化
主荷重+温度+地震の荷重の組み合わせの削除

1991: 宮川橋で我が国初めての免震橋

- 1991:「道路橋支承便覧」改訂
→ 施工編との合本

1992: 建設省土木研究所 他
「建設省道路橋の免震設計法マニュアル(案)」発刊

- 1993:「道路橋示方書・同解説」改定
→ 活荷重の見直し

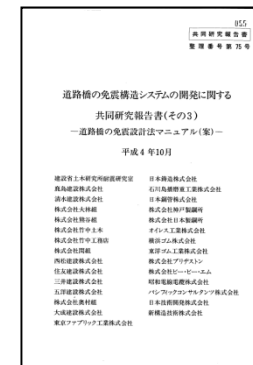
1995: 兵庫県南部地震
→ 従来の強震記録をはるかに上回る大きな地震動
支承部および落橋防止構造の損傷

- 1996:「道路橋示方書・同解説」改定
→ レベル2地震動の設定
免震支承, 地震時水平力分散支承の普及

2000



宮川橋
(静岡県浜松市)



道路橋の免震構造システムの開発に関する共同研究報告書(その3)
建設省道路橋の免震設計法マニュアル(案)



兵庫県南部地震による
橋梁の被害



国立研究開発法人 土木研究所
構造物メンテナンス研究センター
CAESAR(シーザー): Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research



背景

支承の歴史(平成:2000～現在)



国立研究開発法人 土木研究所

構造物メンテナンス研究センター

CAESAR(シーザー): Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research



背景

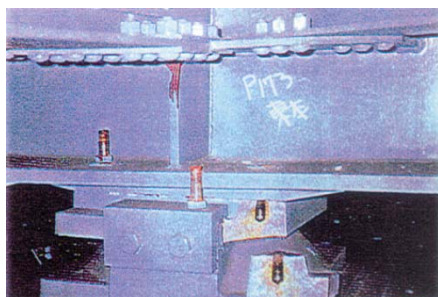
支承の被害事例

1995年兵庫県南部地震(阪神高速 神戸線)

BP 支承

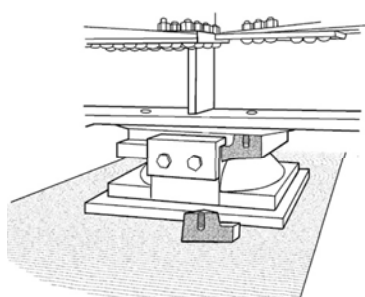


サイドブロック取付けボルトの損傷



出典: 日本道路協会, H16道路橋支承便覧

上沓ストッパー部の破損

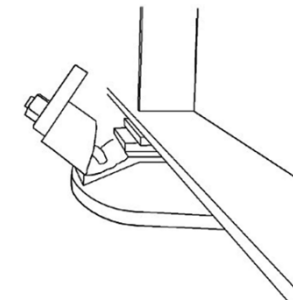


線支承

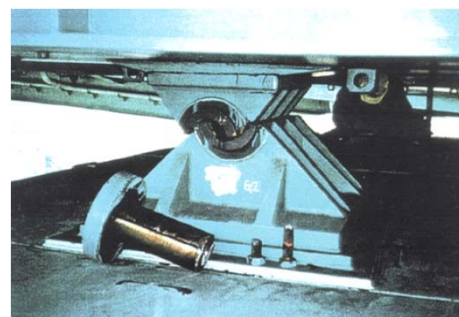


出典: 日本道路協会, H16道路橋支承便覧

移動制限装置(下沓の凸部)の破断

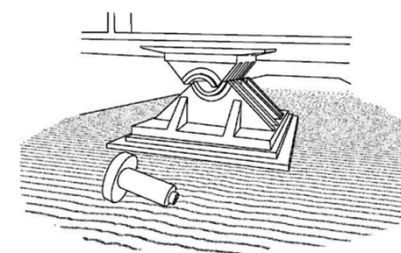


ピン支承



出典: 日本道路協会, H16道路橋支承便覧

ピン中央部のくびれ部の破断



背景

支承の被害事例(2016年熊本地震)

木山川橋

ピン支承



上沓の損傷



橋座コンクリートの損傷

大切畑大橋

ゴム支承



支承取付け
ボルトの損傷



ゴム支承本体
の損傷



国立研究開発法人 土木研究所
構造物メンテナンス研究センター

CAESAR(シーザー): Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research



背景

劣化事例

劣悪な環境にある支承の劣化事例



鋼材の劣化



漏水による腐食

出典: 国総研資料No.748
道路橋の定期点検に関する参考資料(2013年版)

その他の劣化



ゴムのオゾン劣化

クラック



ゴムのオゾン劣化(パット型ゴム支承)

クラック

出典: ゴム支承協会

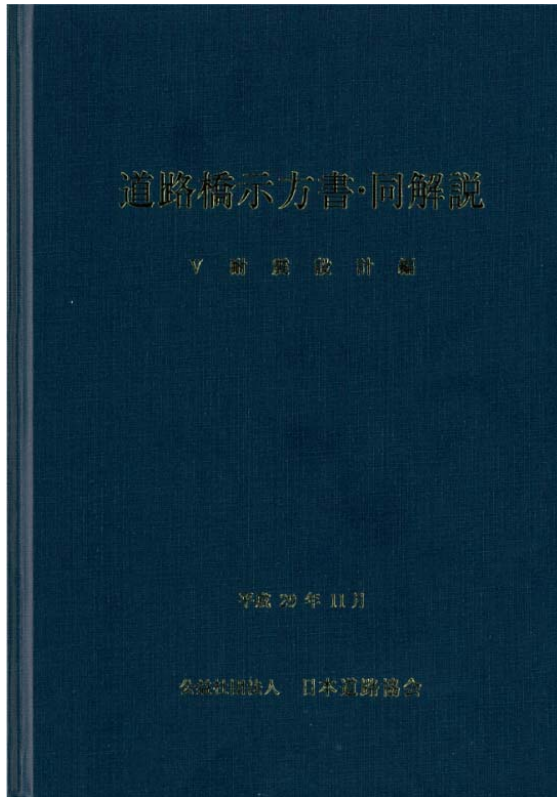


国立研究開発法人 土木研究所
構造物メンテナンス研究センター
CAESAR(シーザー): Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research



背景 道路橋示方書の改定(H29.7)

道路橋示方書(H29.7改定)



- I 「生産性革命元年」～ 多様な構造の耐荷性能『評価』
 - II 「長寿命化」～ 点検, 挽回を織り込んだ耐久性能『評価』
- ⇒ 自由度と性能の説明性の向上・標準化・明確化

①橋の目標期間を新たに設定

⇒ 設計供用期間100年を規定,性能目標が明確化

②部分係数設計法の導入

⇒ 100年の間に橋が遭遇する荷重組合せの再評価

⇒ 新しい構造部材, 新しい材料の利用の提案に対して,データに基づき抵抗の信頼性を評価

③限界状態設計法の導入

⇒ 多様な形式,構造,材料に対する道路橋への要求性能として,
限界状態の評価法が明らかな技術を使用することを明確化

⇒ 「診断」できる構造

④橋の耐久性能と設計方針を明確に規定

⇒ 維持管理方針と一体の設計を規定



国立研究開発法人 土木研究所

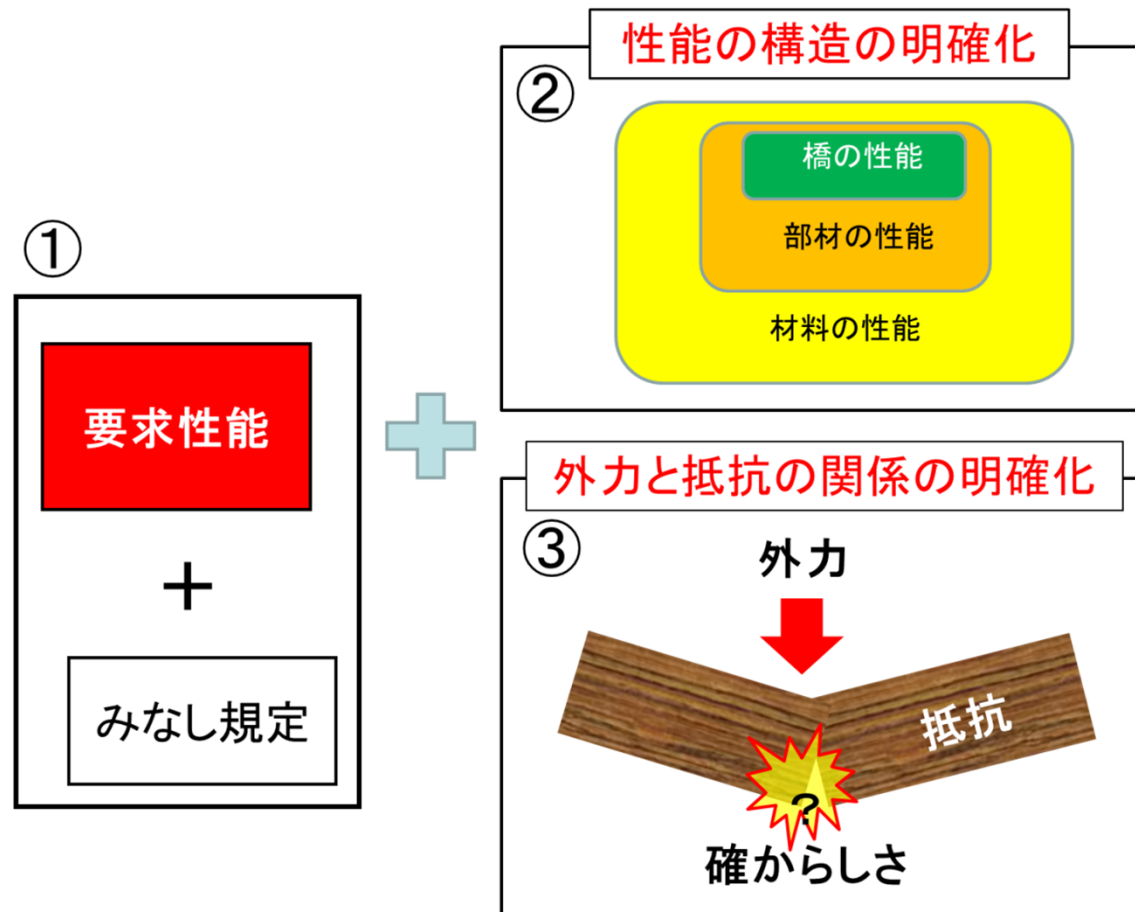
構造物メンテナンス研究センター

CAESAR(シーザー): Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research



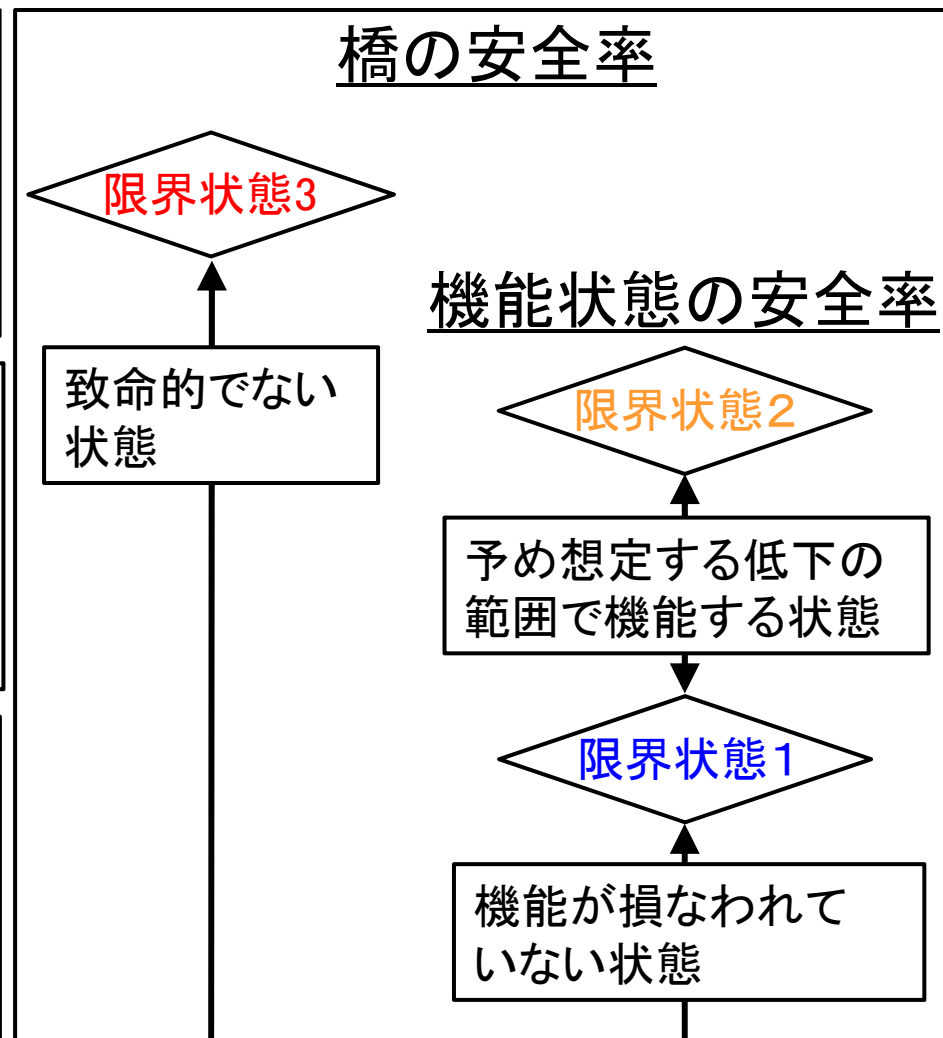
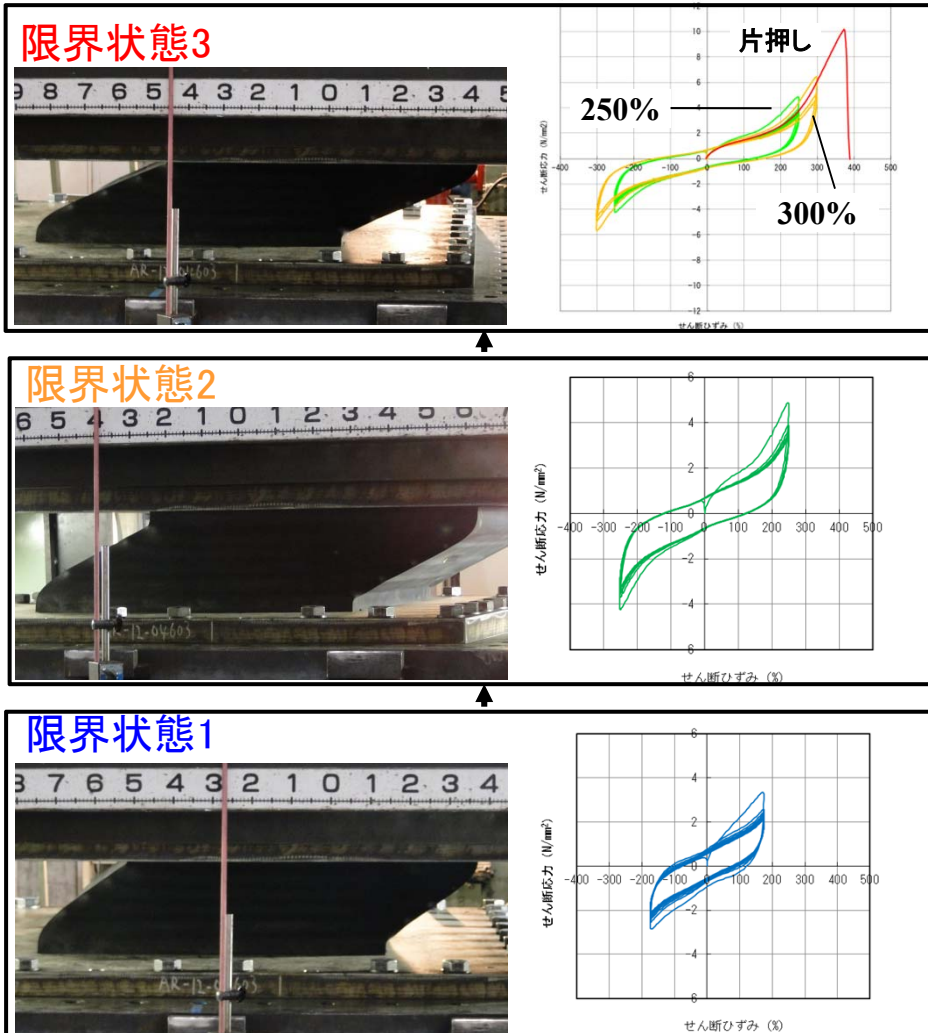
背景 道路橋示方書の改定(H29.7)

性能規定型基準 ①～③の全てを兼ね備えたことが、
改定道示最大の特徴



背景 道路橋示方書の改定(H29.7)

限界状態設計法



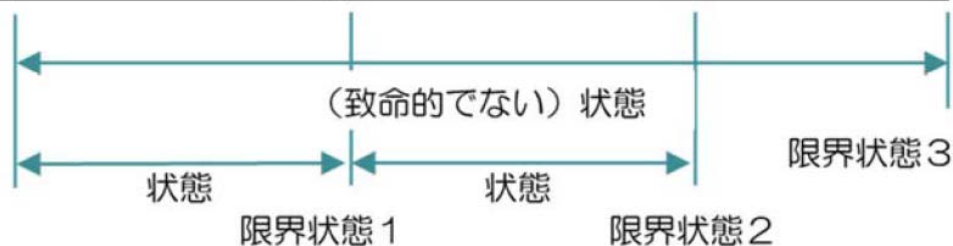
背景 道路橋示方書の改定(H29.7)

性能規定型基準 + 限界状態設計法

パフォーマンスマトリクス

(b) 橋の耐荷性能2

状態 (2.2)	主として機能面からの橋の状態		構造安全面からの橋の状態
	橋としての荷重を支持する能力が損なわれていない状態	部分的に荷重を支持する能力の低下が生じているが、橋としてあらかじめ想定する荷重を支持する能力の範囲である状態	致命的な状態でない
状況 (2.1)			
永続作用や変動作用が支配的な状況	状態を所要の信頼性で実現する。		所要の安全性を確保する。
偶発作用が支配的な状況		状態を所要の信頼性で実現する。	所要の安全性を確保する。



国立研究開発法人 土木研究所
構造物メンテナンス研究センター

CAESAR(シーザー): Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research



背景 道路橋示方書の改定(H29.7)

部分係数法

作用効果

$$\sum S_i (\gamma_{pi} \gamma_{qi} P_i)$$

100年に生じる状況を模擬

抵抗

$$\xi_1 \xi_2 \Phi_R R(f_c, \Delta_c)$$

安全余裕を部分化し, 部分の改善を反映

ξ_1

ξ_2

Φ_R

調査・解析の質 部材非弾性挙動特性 材料・耐荷力式ばらつき



国立研究開発法人 土木研究所
構造物メンテナンス研究センター

CAESAR(シーザー): Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research



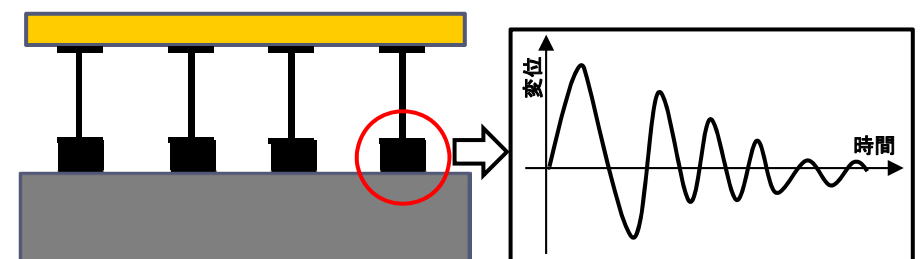
支承の耐荷設計

支承に求められる機能

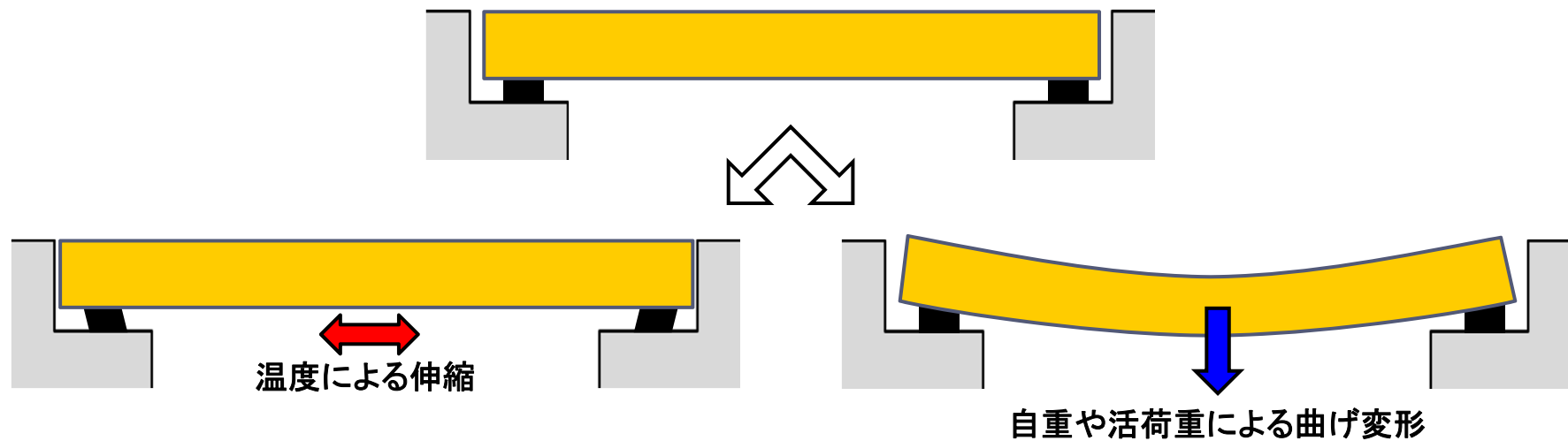
力の伝達機能



減衰機能

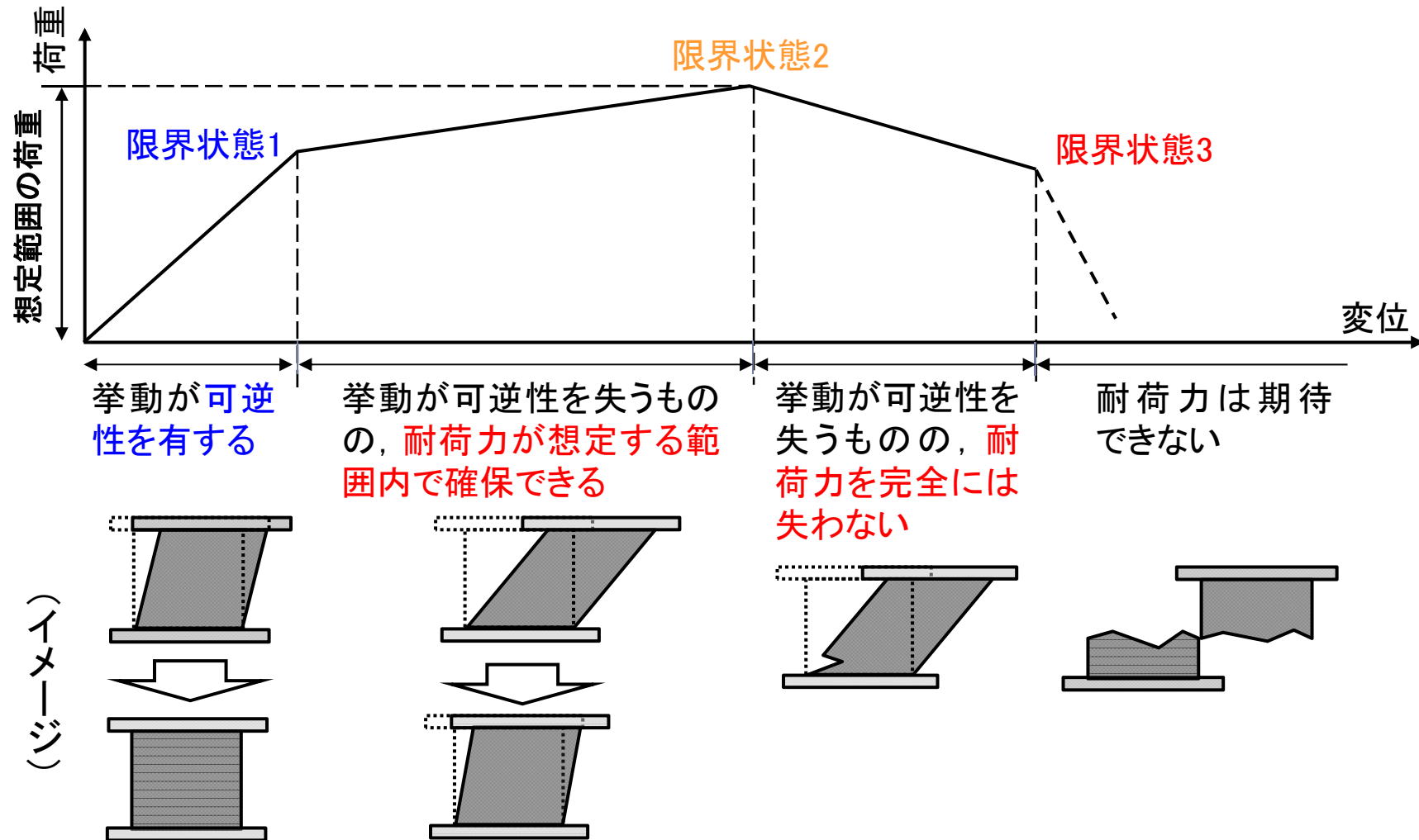


変位追従機能



支承の耐荷設計

支承の限界状態の定義



(イメージ)



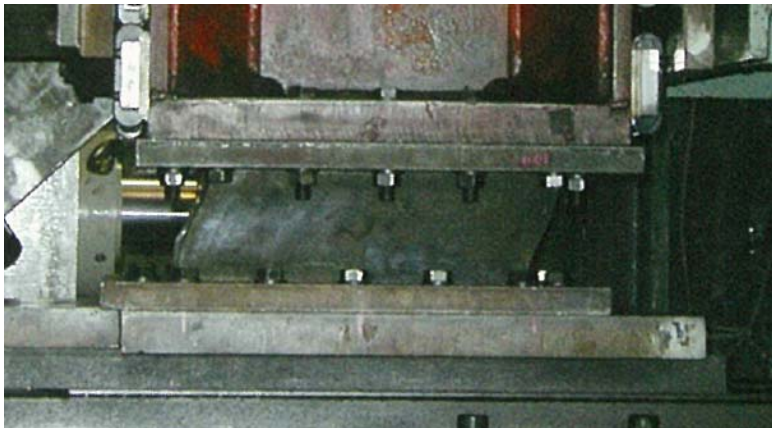
国立研究開発法人 土木研究所
構造物メンテナンス研究センター
CAESAR(シーザー): Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research



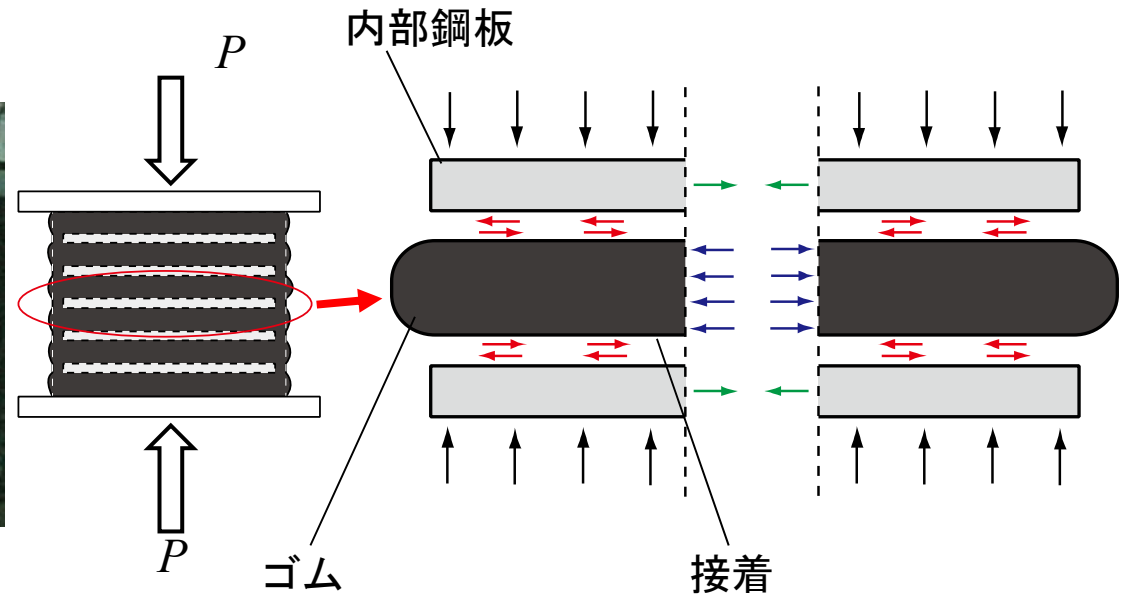
支承の耐荷設計

積層ゴム支承の鉛直支持の限界状態

ゴム支承の圧縮限界試験



参考: ゴム支承協会, 道路橋支承便覧 ゴム支承ガイドブック

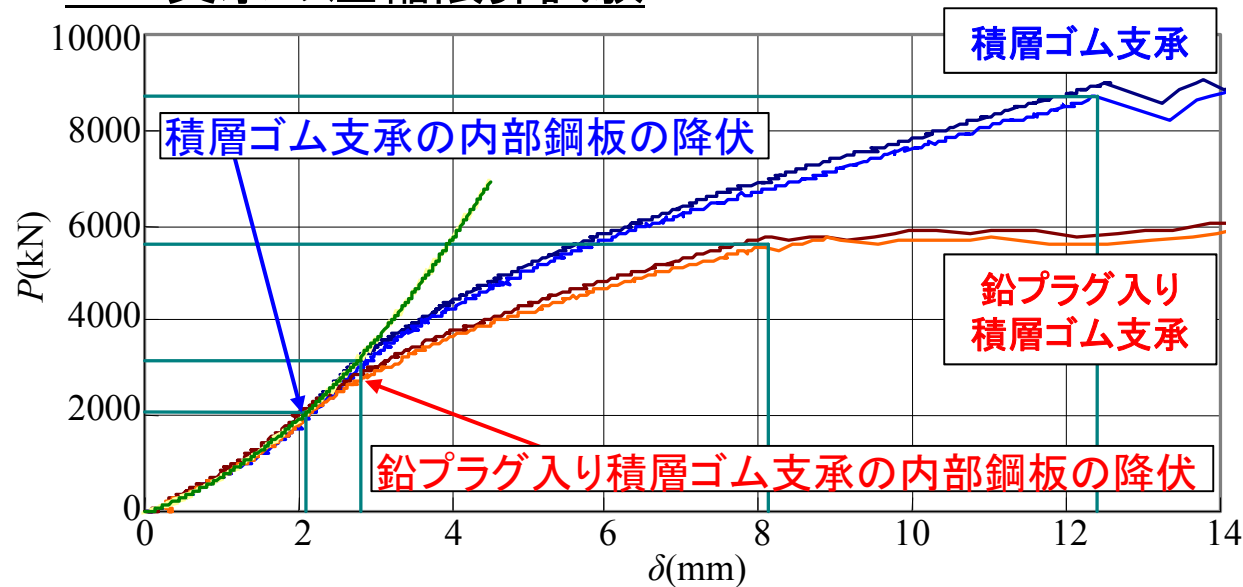


限界状態1	内部鋼板が降伏しない ゴム支承が座屈しない
限界状態3	内部鋼板が破断しない ゴム支承が座屈しない

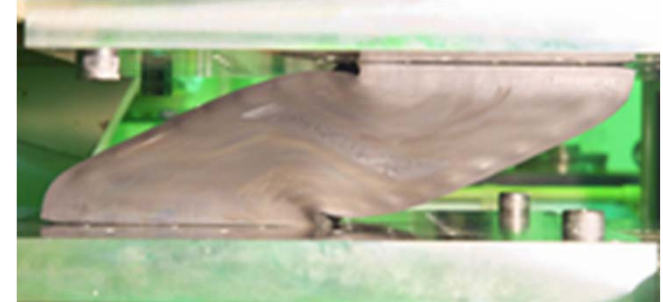
支承の耐荷設計

積層ゴム支承の鉛直支持の限界状態

ゴム支承の圧縮限界試験

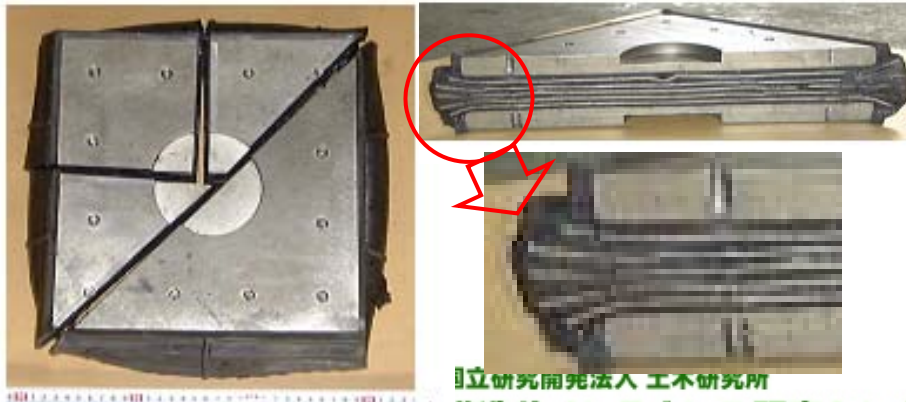


ゴム支承の座屈

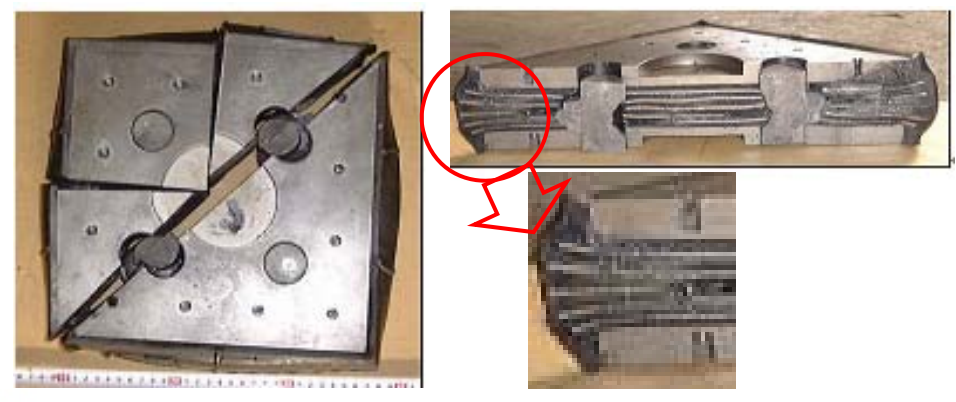


出典: ゴム支承協会

積層ゴム支承の圧縮破壊



鉛プラグ入り積層ゴム支承の圧縮破壊



国立研究開発法人 工務研究所

構造物メンテナンス研究センター

CAESAR(シーザー): Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research

出典: 日本道路協会, H16道路橋支承便覧

CAESAR

支承の耐荷設計

積層ゴム支承の水平支持の限界状態

ゴム支承の水平限界試験(鉛プラグ入り免震ゴム支承)



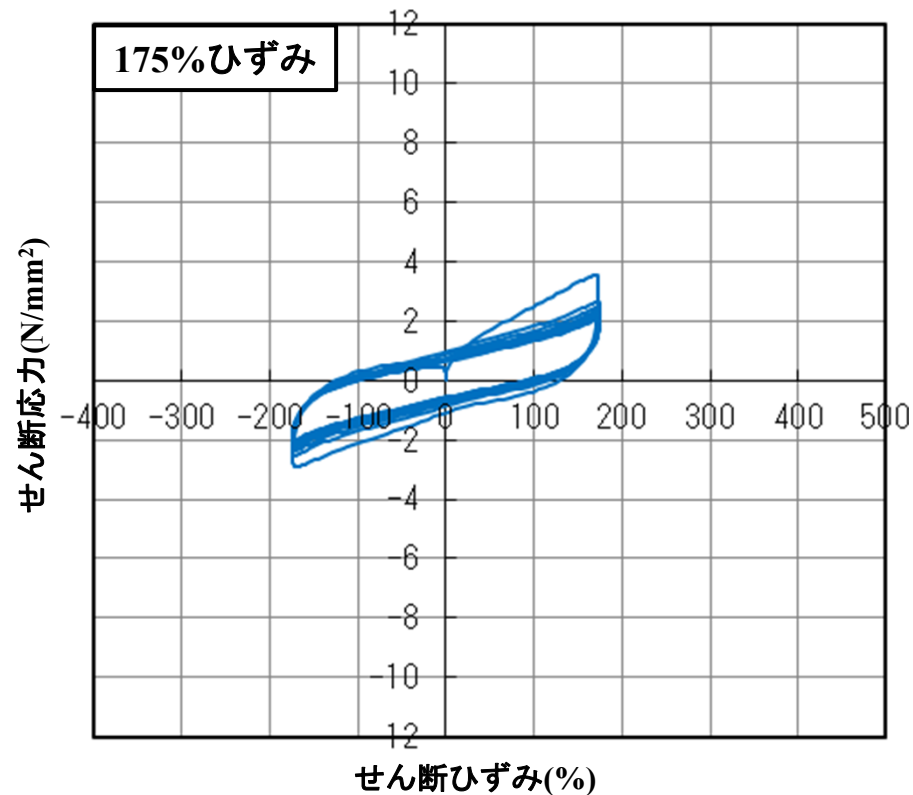
限界状態1	挙動が可逆性を有する → せん断剛性が繰返し载荷に対して安定している
限界状態2	エネルギー吸収能が安定して確保できる → 等価減衰定数が設計値以上
限界状態3	耐荷力を失わない → 繰返し载荷に対して破断しない

支承の耐荷設計

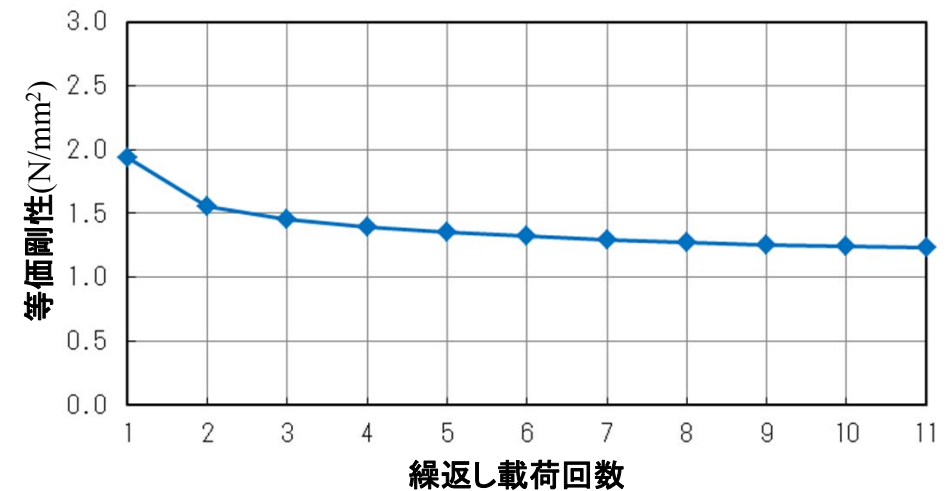
積層ゴム支承の水平支持の限界状態

ゴム支承の水平限界試験(鉛プラグ入り免震ゴム支承)

175%のせん断ひずみ-せん断応力の関係



繰返し载荷回数-等価剛性の関係



国立研究開発法人 土木研究所
構造物メンテナンス研究センター

CAESAR(シーザー): Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research

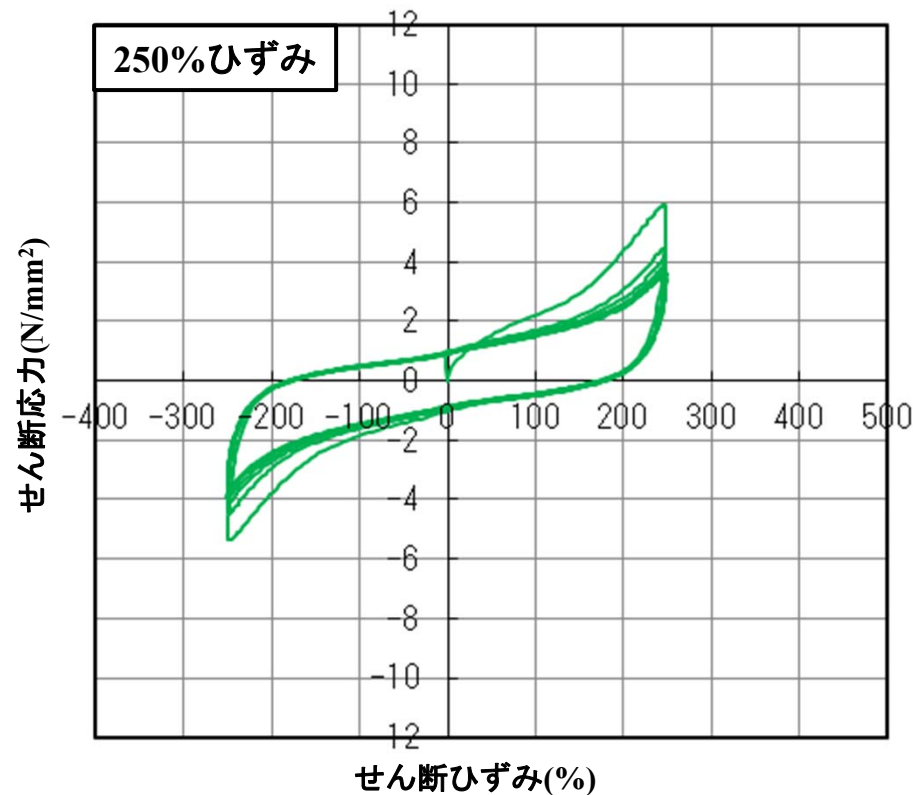


支承の耐荷設計

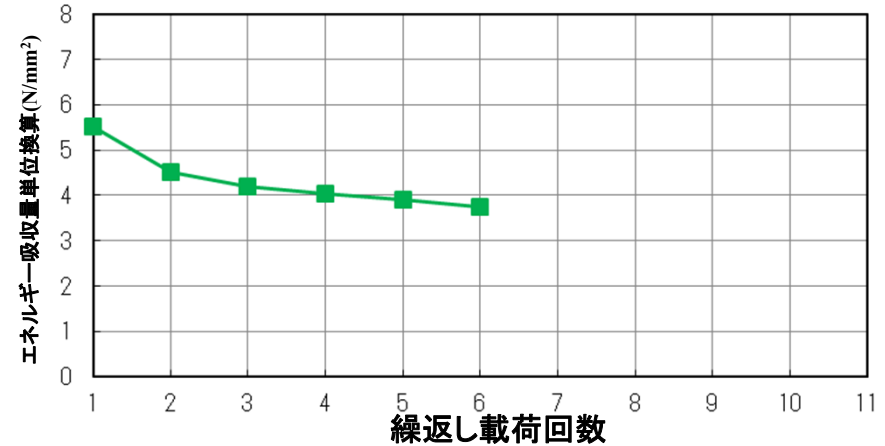
積層ゴム支承の水平支持の限界状態

ゴム支承の水平限界試験(鉛プラグ入り免震ゴム支承)

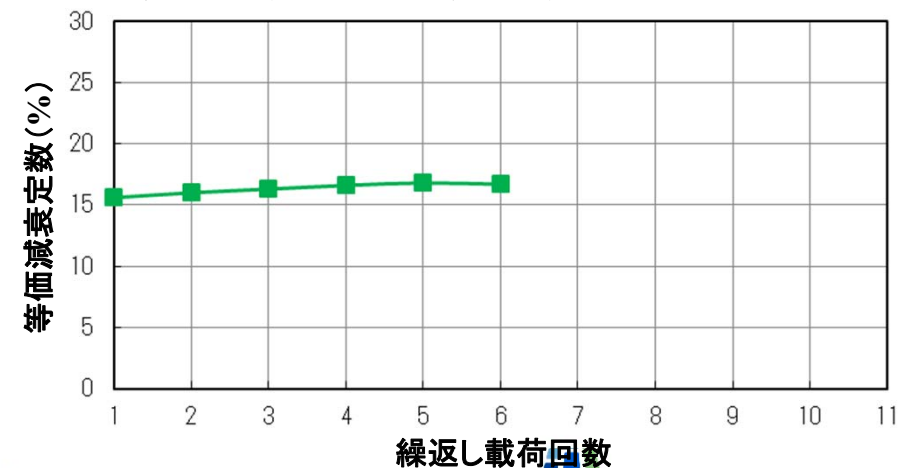
250%のせん断ひずみ-せん断応力の関係



繰返し载荷回数-エネルギー吸収量の関係



繰返し载荷回数-等価減衰定数の関係



国立研究開発法人 土木研究所
構造物メンテナンス研究センター
CAESAR(シーザー):Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research

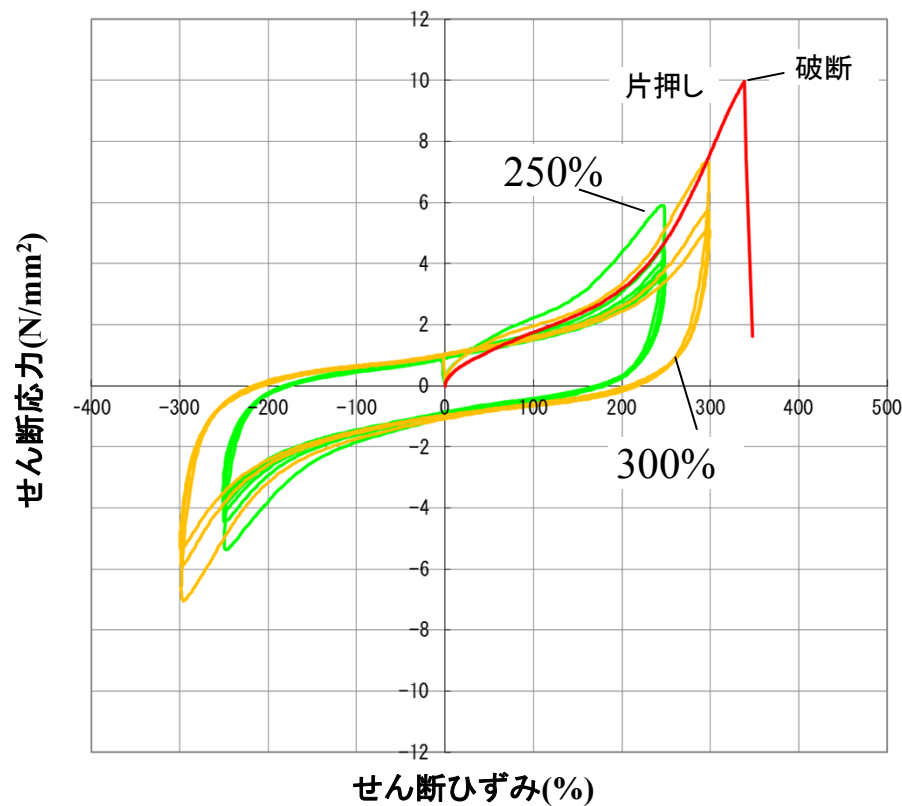


支承の耐荷設計

積層ゴム支承の水平支持の限界状態

ゴム支承の水平限界試験(鉛プラグ入り免震ゴム支承)

せん断ひずみ-せん断応力の関係



300%ひずみのゴム支承の状況



破断時のゴム支承の状況



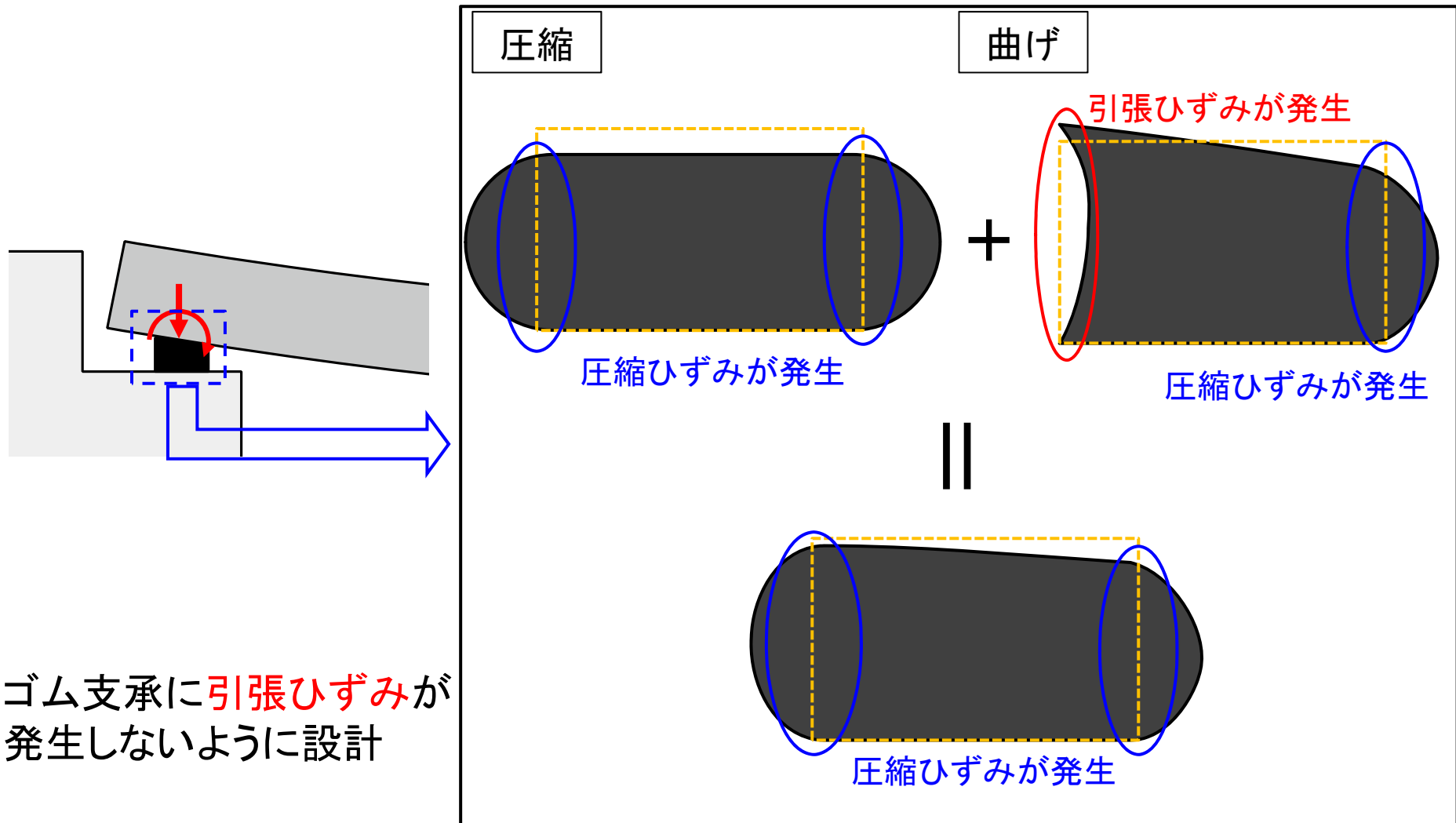
国立研究開発法人 土木研究所
構造物メンテナンス研究センター

CAESAR(シーザー): Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research



支承の耐荷設計

積層ゴム支承の変位追随(回転)の限界状態

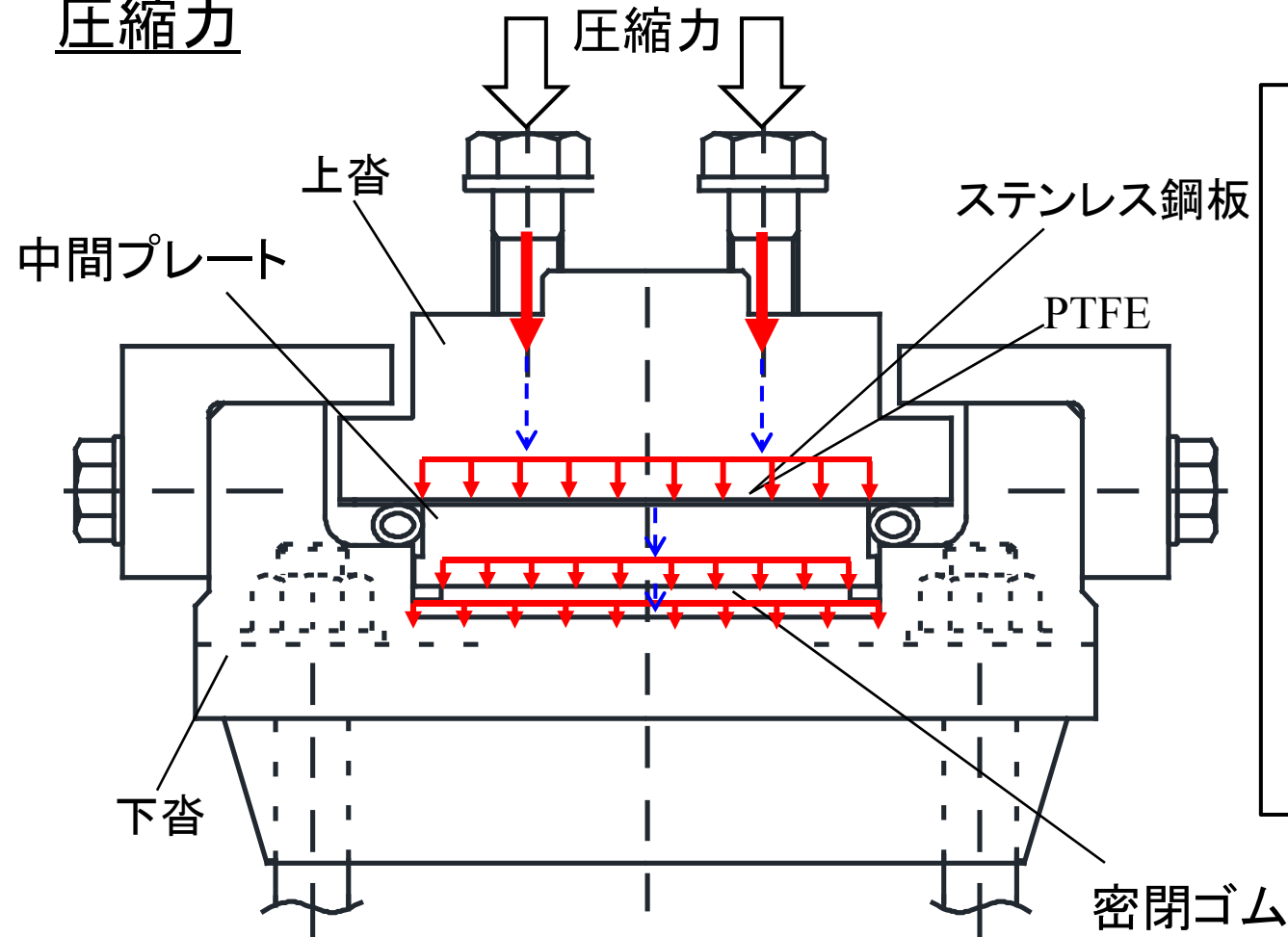


ゴム支承に**引張ひずみ**が発生しないように設計

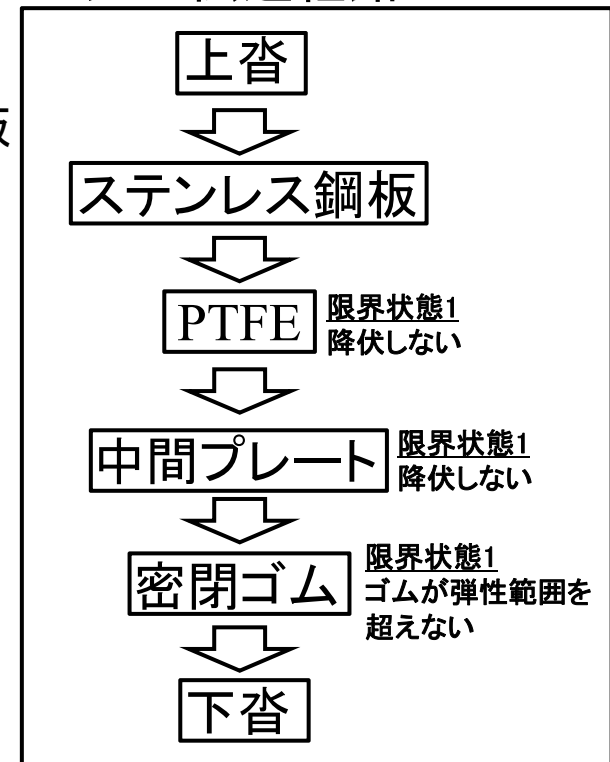
支承の耐荷設計

鋼製支承(BP・B)の鉛直支持の限界状態

圧縮力



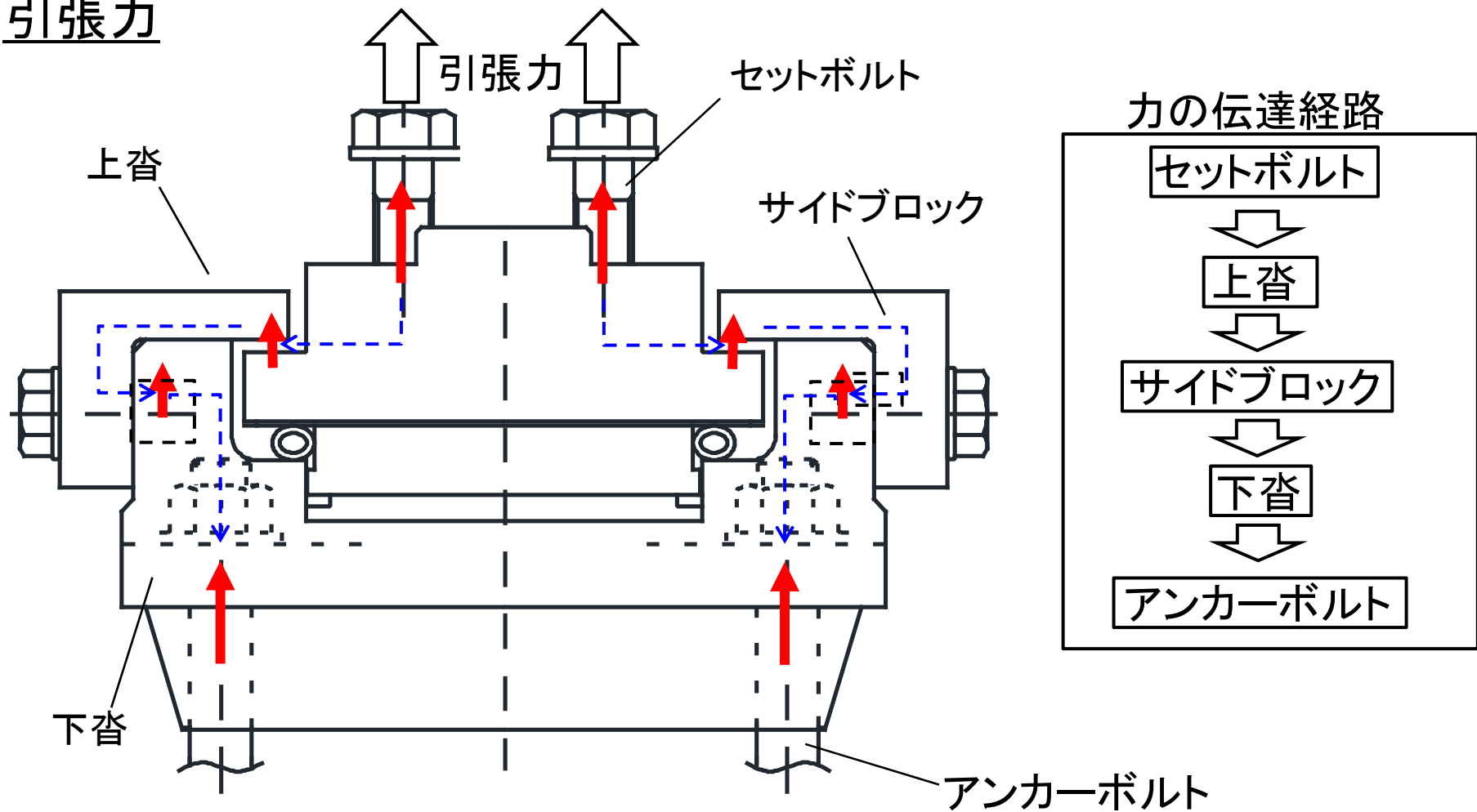
力の伝達経路



支承の耐荷設計

鋼製支承(BP・B)の鉛直支持の限界状態

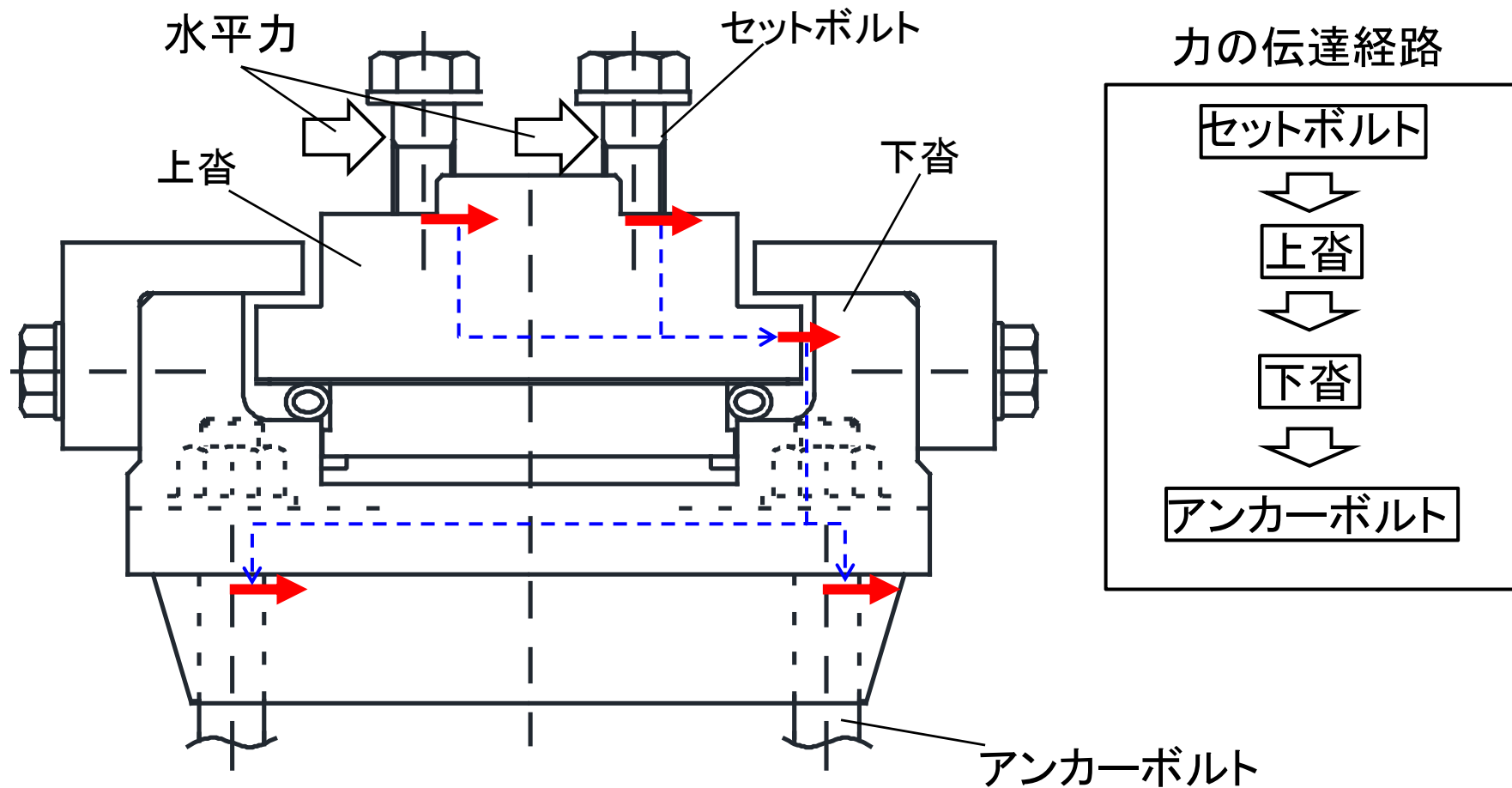
引張力



支承の耐荷設計

鋼製支承(BP・B)の水平支持の限界状態

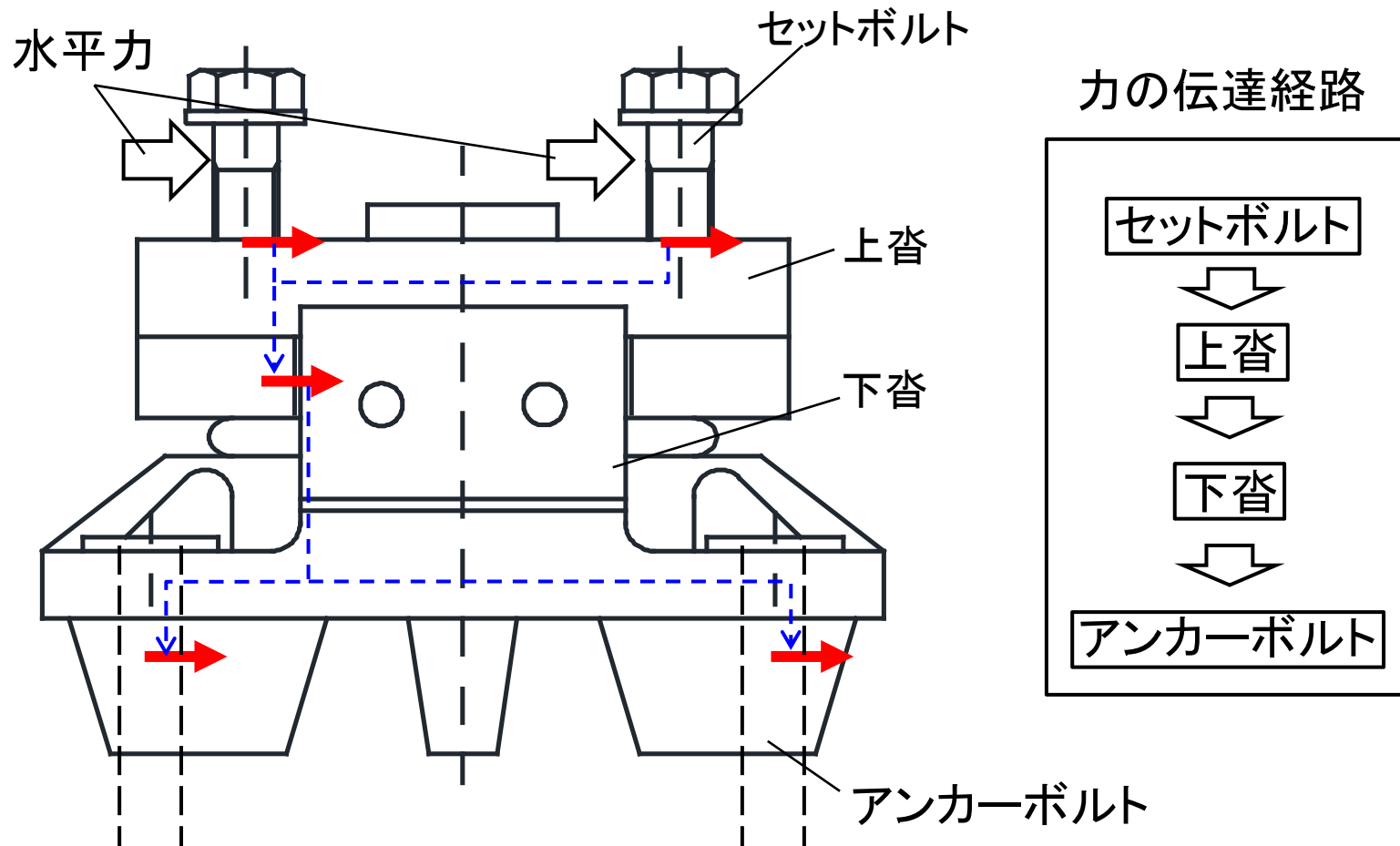
橋軸直角方向



支承の耐荷設計

鋼製支承(BP・B)の水平支持の限界状態

橋軸方向

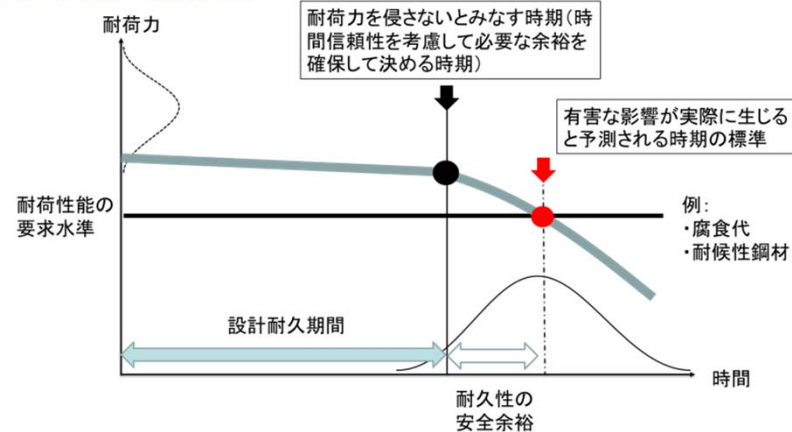


支承の耐久設計

耐久性確保の方法1, 2, 3 道路橋示方書 I 共通編

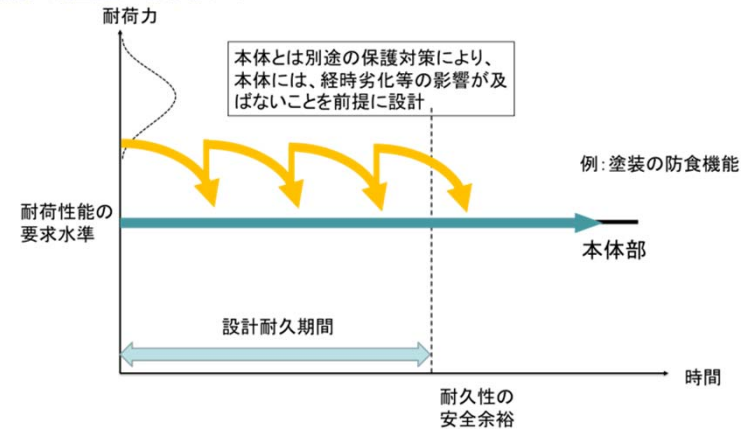
6.2 耐久性確保の方法と照査

耐久性能（方法1）



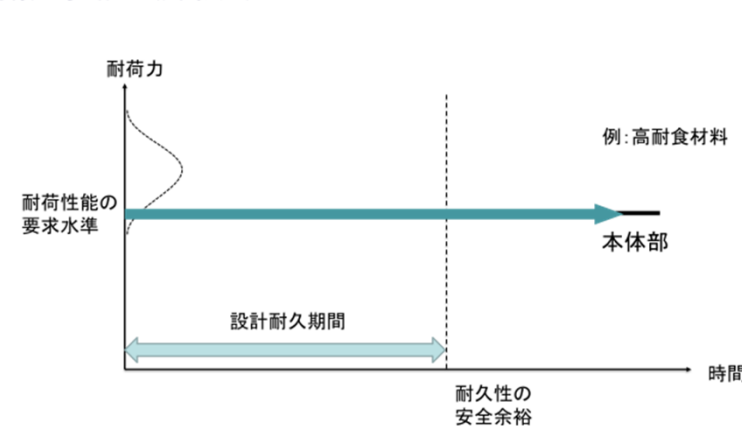
耐荷性能に考慮している部材の一部に、経時劣化等の影響による変化を許容する。
(ただし、有害な影響がでるまで実質の耐荷力も低下する場合)

耐久性能（方法2）



耐荷性能に考慮している部材の一部に、経時劣化等の影響による変化を許容する。
(ただし、有害な影響がでるまで実質の耐荷力も低下する場合)

耐久性能（方法3）



耐荷性能に考慮している部材そのものを、目標期間内では経時劣化等の影響を無視できる材料等による



国立研究開発法人 土木研究所

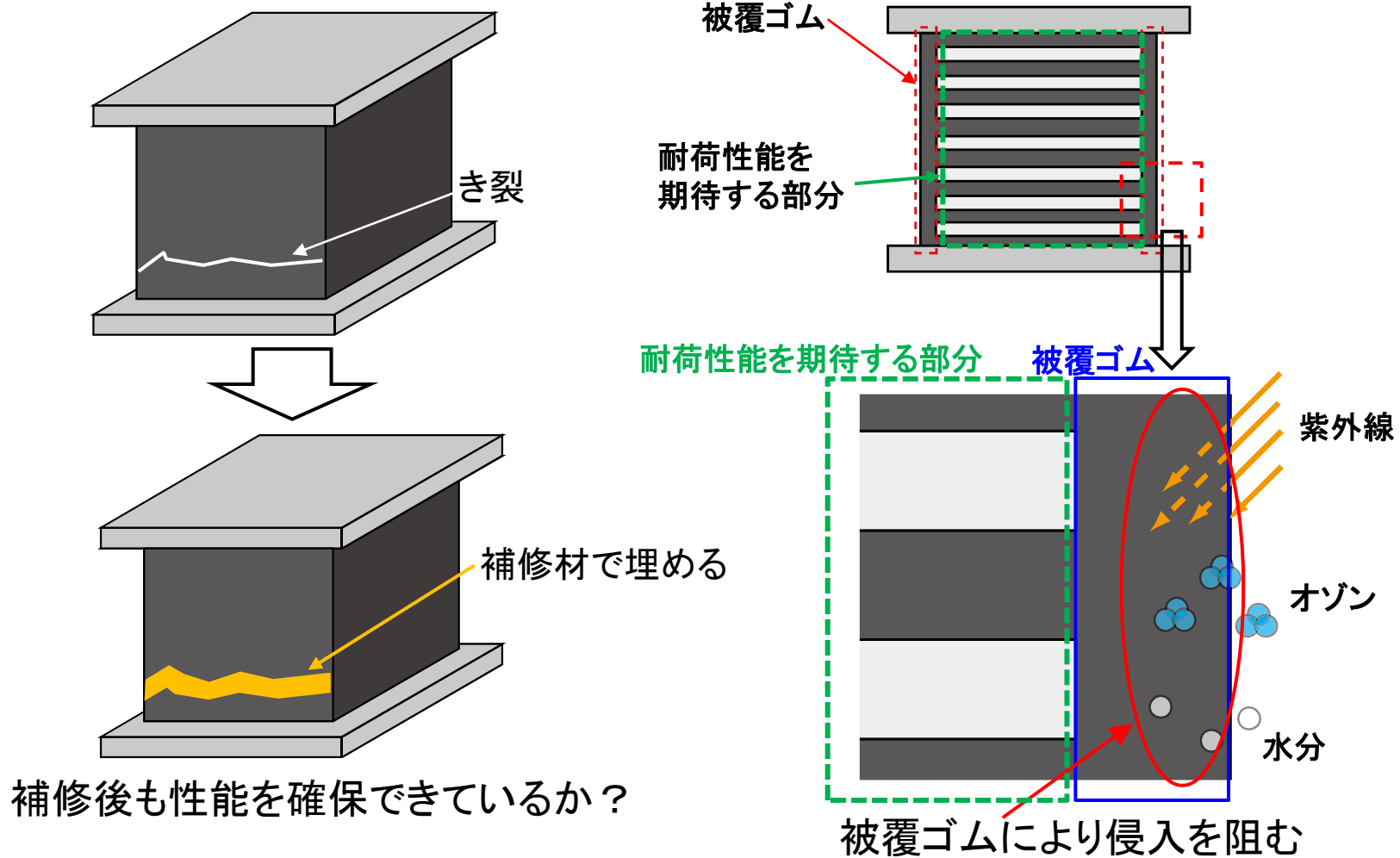
構造物メンテナンス研究センター

CAESAR(シーザー): Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research

CAESAR

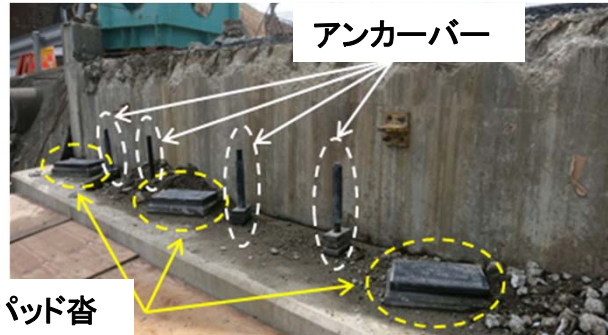
支承の耐久設計

積層ゴム支承の耐久性確保の考え方



支承の耐久設計

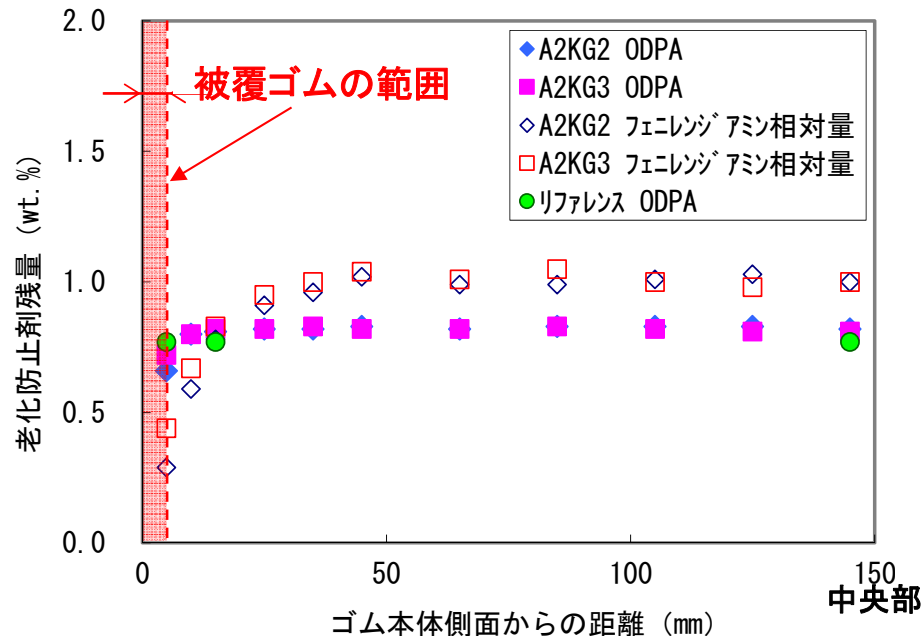
積層ゴム支承の環境劣化の検証方法



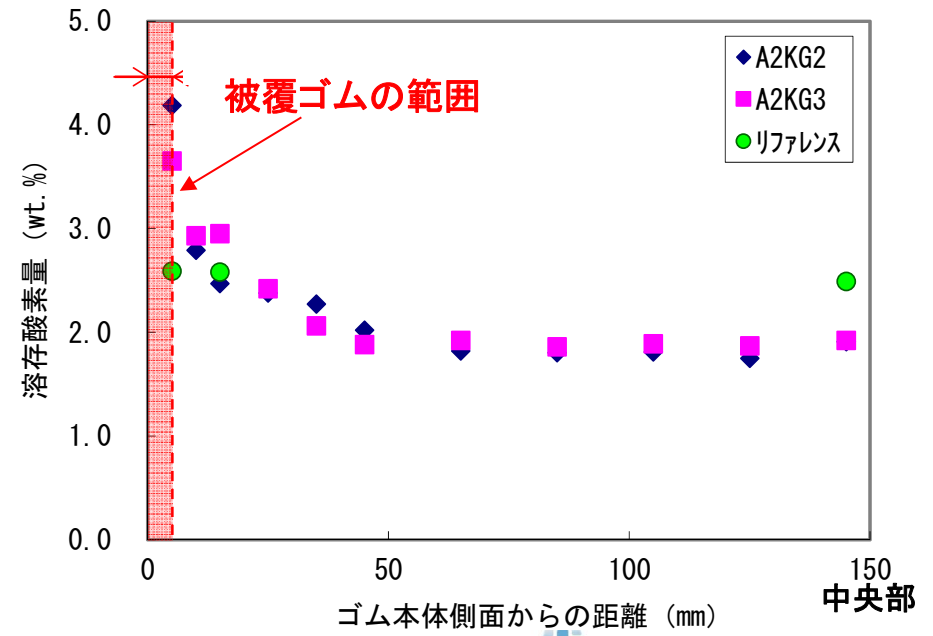
供用開始から**26年**経過したパッド型ゴム支承 (300 × 300, t=81)
海岸線から220mの**塩害環境下**に位置する橋梁

オゾン劣化: 老化防止剤残量試験
酸化劣化: 溶存酸素量試験

老化防止剤残存量



溶存酸素量



国立研究開発法人 国土交通省

構造物メンテナンス研究センター

CAESAR(シーザー): Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research

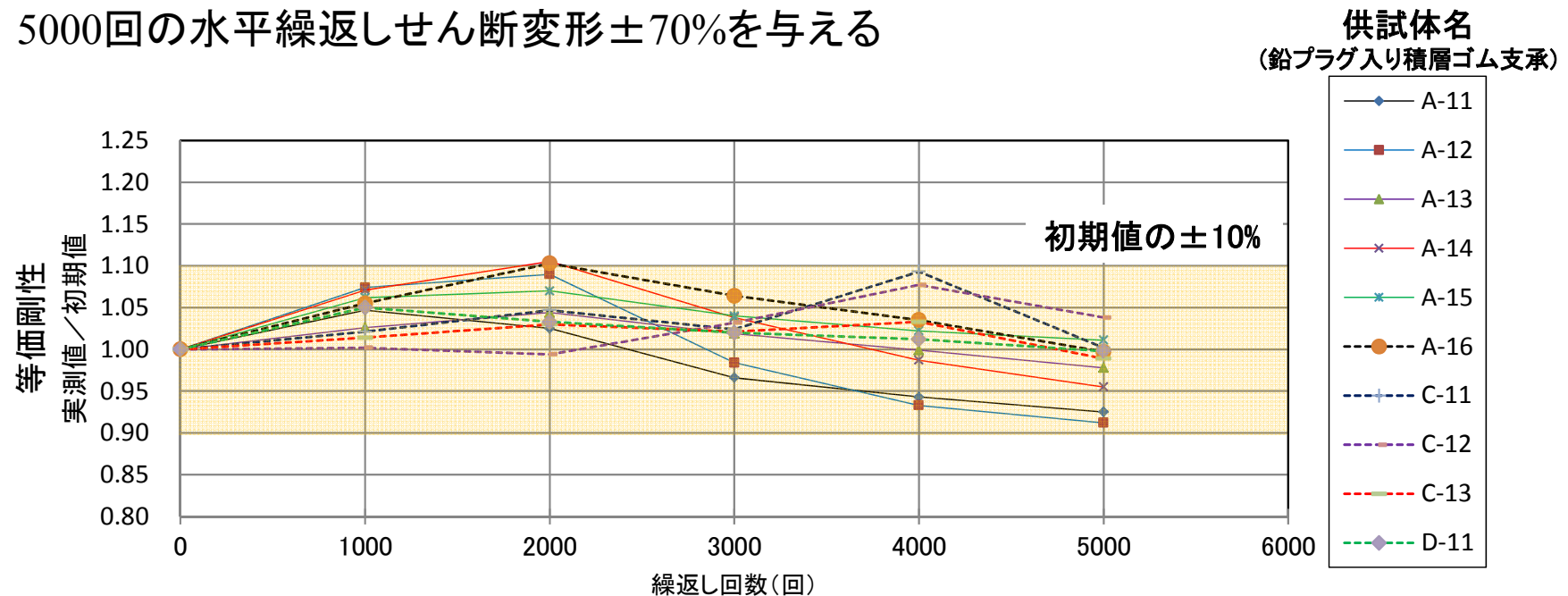


支承の耐久設計

積層ゴム支承の疲労耐久性の検証方法

低速せん断繰返し試験

圧縮応力度 6.0N/mm^2 に相当する荷重を載荷した状態で、
5000回の水平繰返しせん断変形 $\pm 70\%$ を与える



やや剛性が低くなる傾向であるが、
初期値に対して $\pm 10\%$ 程度の変化率となっている

支承の耐久設計

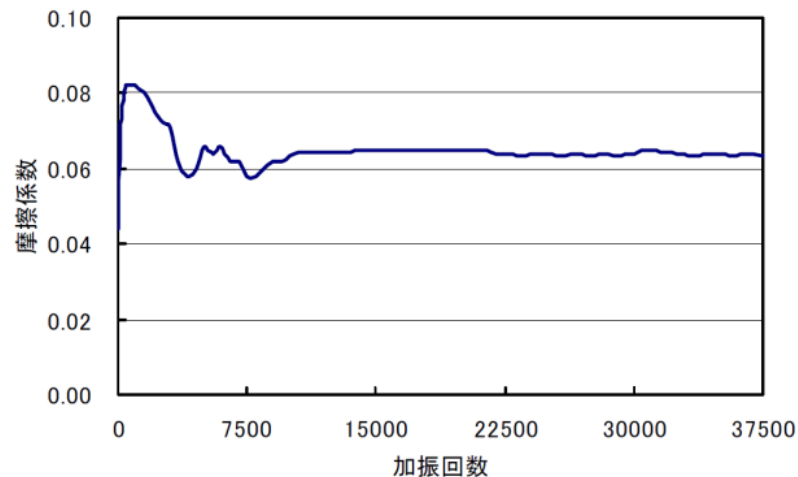
鋼製支承の耐久性確保の考え方

鋼製支承の耐久性を確保する上で考える必要のある要因

・防錆 ・摩耗 ・疲労

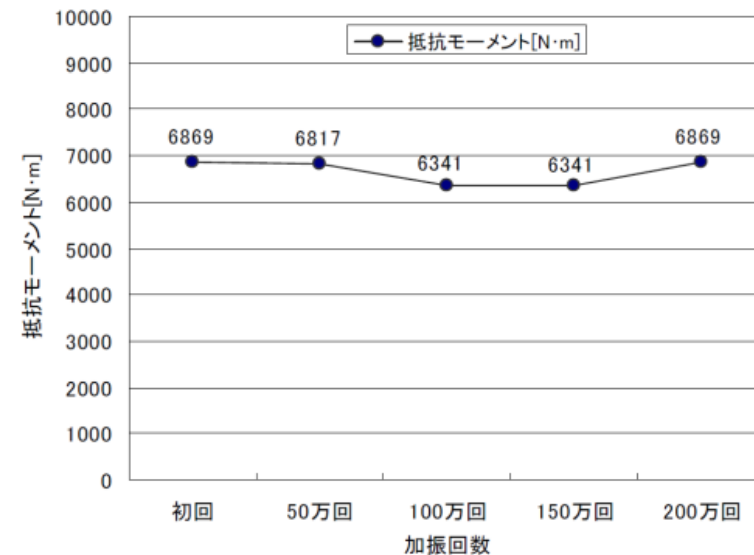
BP・B支承の耐久性試験

すべり耐久性試験



摩擦係数の変化

回転耐久性試験



抵抗モーメントの変化



国立研究開発法人 土木研究所
構造物メンテナンス研究センター

CAESAR(シーザー): Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research



CAESAR

支承の性能確認試験と品質管理

積層ゴム支承の性能確認の考え方

寸法, 外観検査



両者の関係を保証するものとして
製造プロセス検証

せん断載荷試験



出荷品で確認できること

品質確認試験

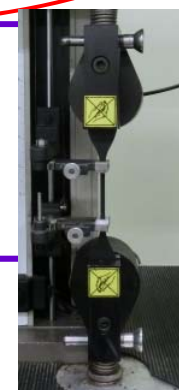
出荷品で確認できないこと

特性検証試験

ゴム支承を構成している材料を調達する段階において確認

材料試験

ゴム引張試験



支承の性能確認試験と品質管理

積層ゴム支承の材料試験

ゴム材料

化学成分

各成分の測定試験

物理的性質

基本特性試験

老化・耐久性試験

耐オゾン性

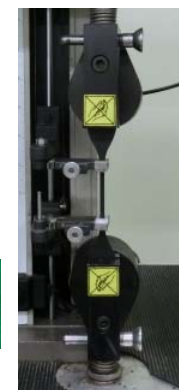
標準，低温状態の耐オゾン性試験

材料引張試験

試験前



試験後



鋼材，鉛の材質

寸法，機械的性質，化学成分等を確認

ゴムと鋼材の接着性

ゴムと鋼板の接着強さを試験

90° 剥離試験



国立研究開発法人 土木研究所

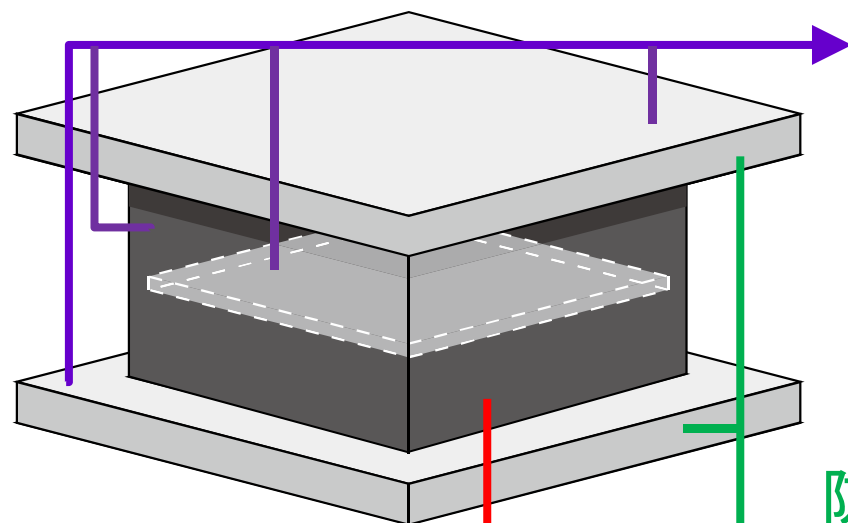
構造物メンテナンス研究センター

CAESAR(シーザー): Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research

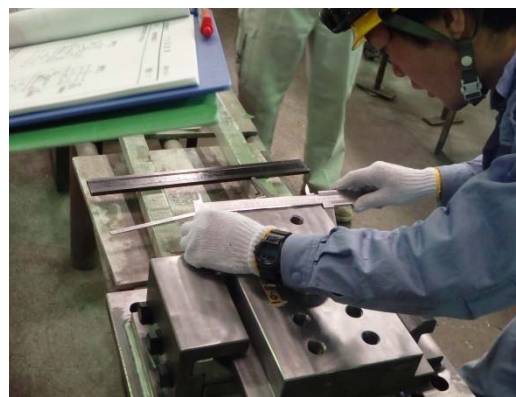


支承の性能確認試験と品質管理

積層ゴム支承の品質確認試験(出荷品)



寸法, 外観検査



- ・内部鋼板寸法
- ・鋼部材の寸法
- ・ゴム支承本体の寸法
- ・内部鋼板位置
- ・組立完成品の寸法
- ・外観異常の有無

防錆, 防食試験

- ・めっき付着量(膜厚)
- ・塗装塗膜厚



力学的特性試験

- ・せん断剛性, 等価剛性
- ・圧縮変位量 ・等価減衰定数



国立研究開発法人 土木研究所

構造物メンテナンス研究センター

CAESAR(シーザー): Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research



支承の性能確認試験と品質管理

積層ゴム支承の特性検証試験(供試体)

耐荷性能

せん断特性
(限界状態を確認するための試験)

せん断特性の各種依存性
(補正値を出すための試験)

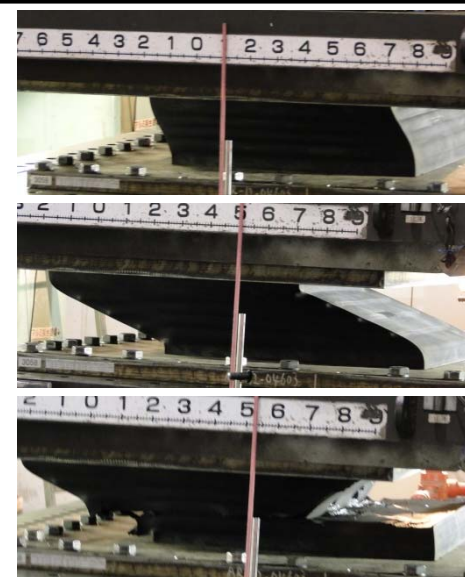
- ・温度依存性
- ・周期依存性
- ・面圧依存性

恒温槽で温度を
調整している支承

出典: 今井ら, 寒冷地における橋梁用ゴム
支承の性能評価実験, 平成18年度土
木学会北海道支部論文報告集, 第63号



せん断載荷試験



耐久性能

繰返し載荷に対して, 性能が変わらないことを確認
(せん断剛性, 等価剛性, 等価減衰定数)

繰返し載荷試験



国立研究開発法人 土木研究所

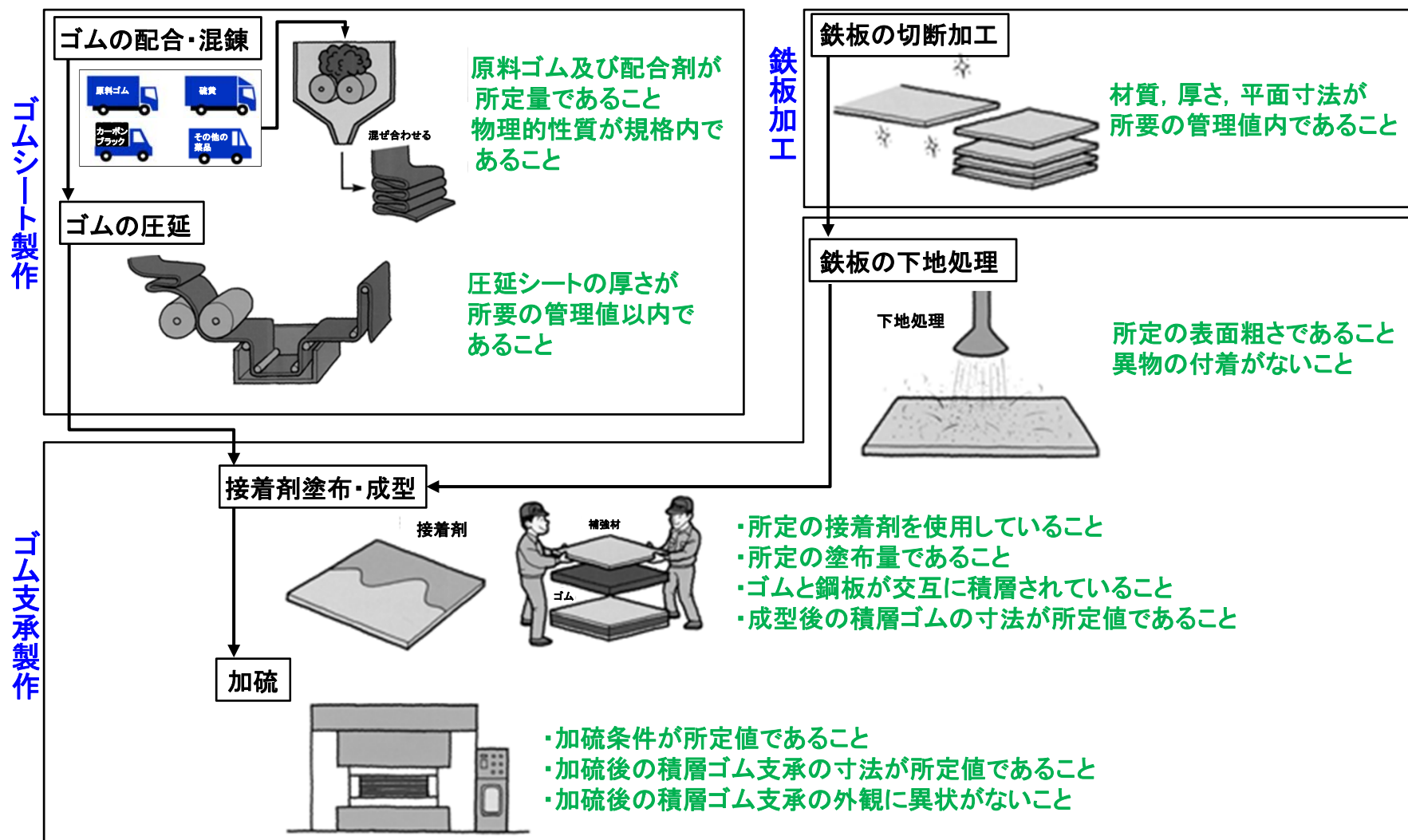
構造物メンテナンス研究センター

CAESAR(シーザー): Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research



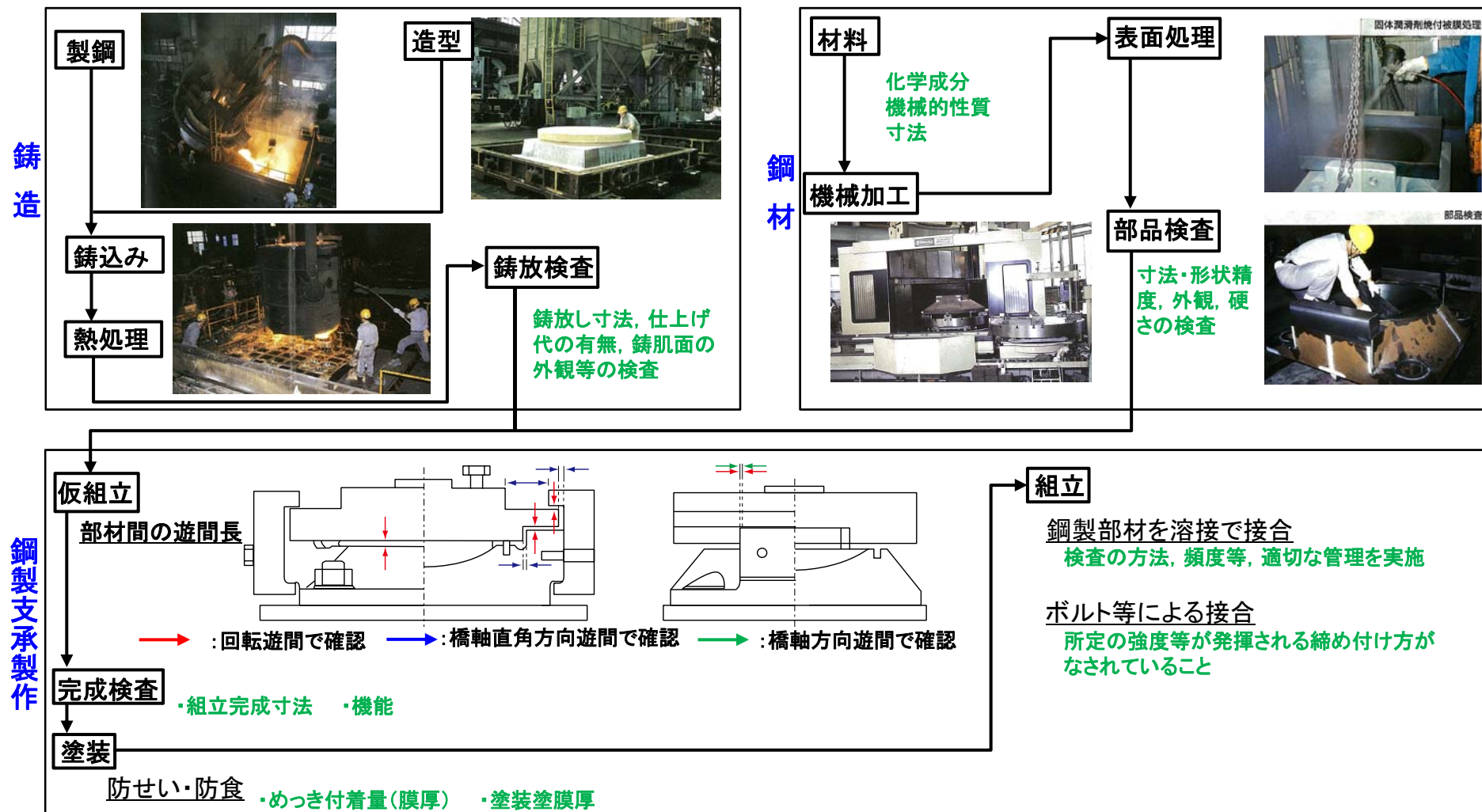
支承の性能確認試験と品質管理

積層ゴム支承の製造プロセス検証



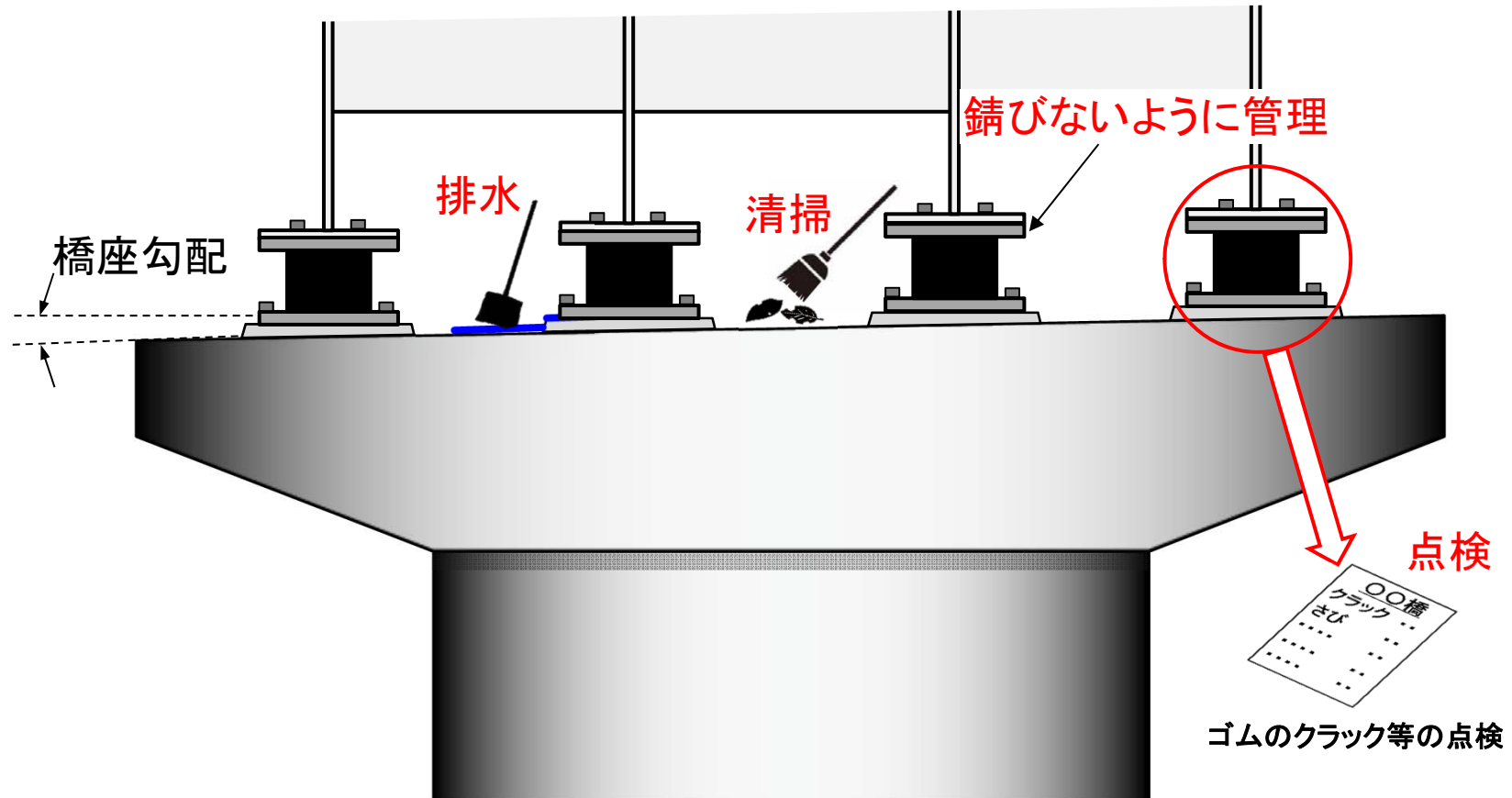
支承の性能確認試験と品質管理

鋼製支承(BP・B)の製造プロセス検証



維持管理

支承の設計の前提とするべき維持管理



維持管理

支承の点検が容易となる工夫

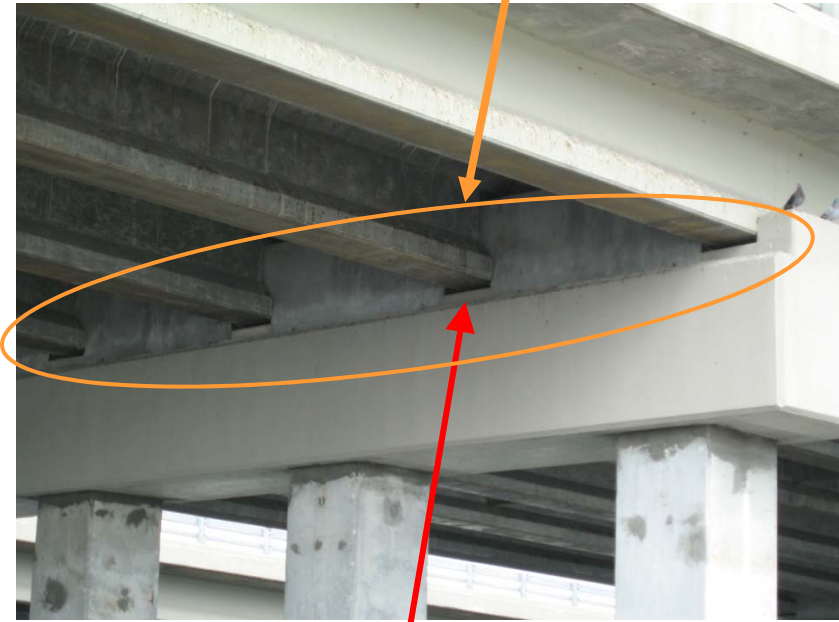
点検が容易なのは？

支承周りに空間が存在



カバー(取り外し可能)
→中の状況を知ることが可能

支承周りに空間が存在しない



支承が見えない
→中の状況を知ることが困難



国立研究開発法人 土木研究所
構造物メンテナンス研究センター

CAESAR(シーザー): Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research



維持管理

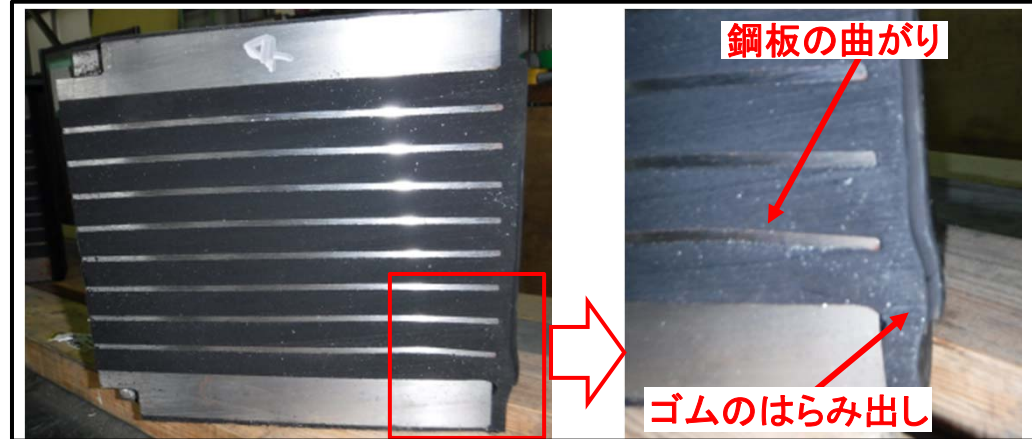
支承の点検方法

熊本地震で被害を受けた支承(扇の坂橋)

地震により変形した支承(A1G2)

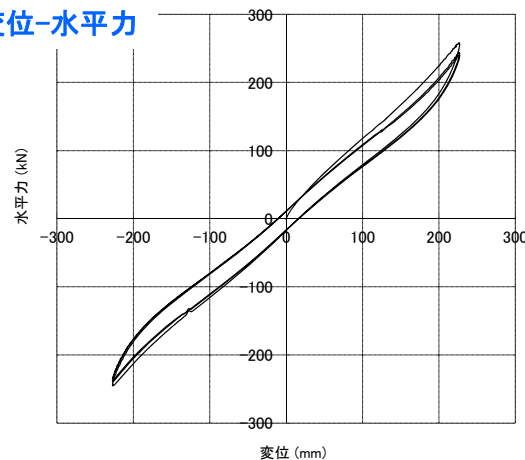


断面の状況

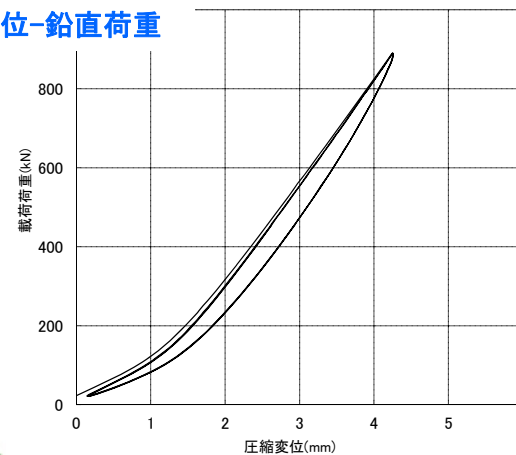


水平載荷試験および鉛直載荷試験結果

水平変位-水平力



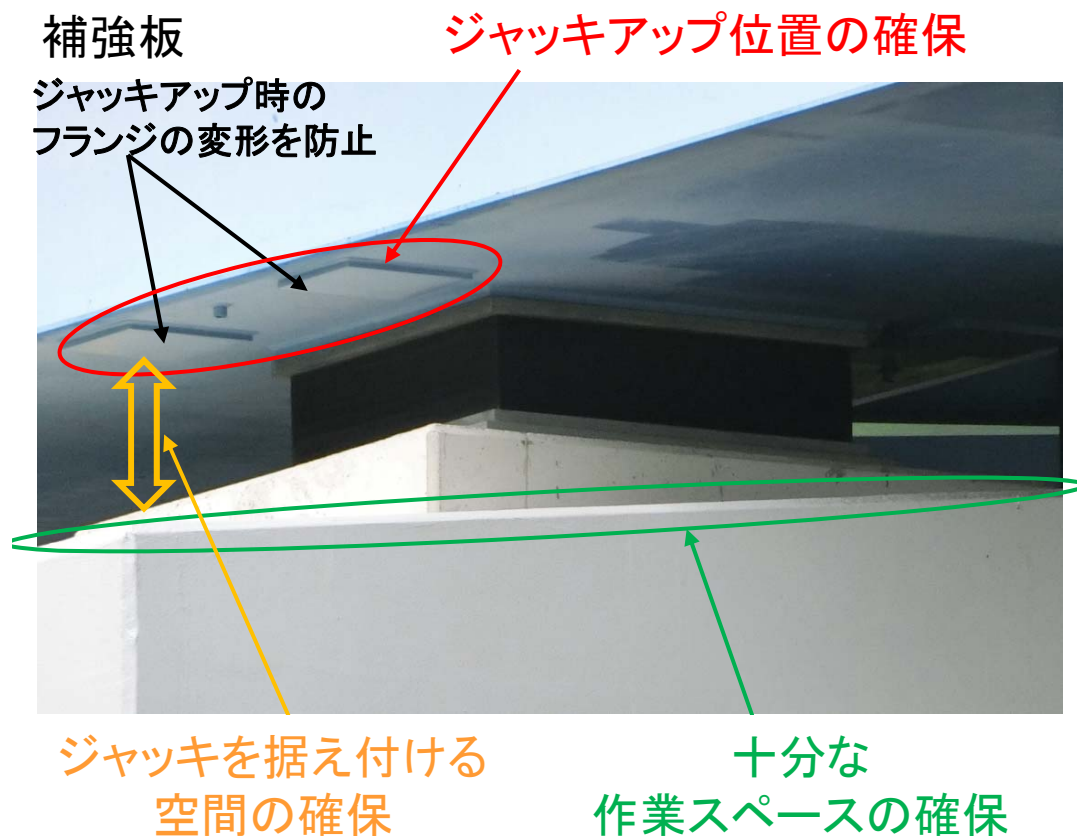
鉛直変位-鉛直荷重



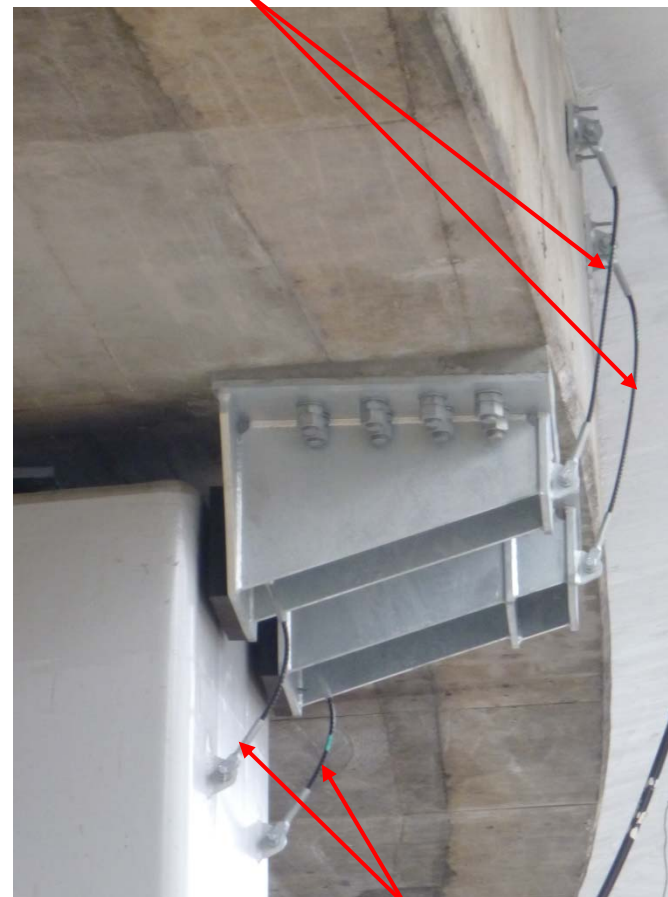
外観で変状がみられても、
性能は変わらない

支承の交換を容易にする工夫

第3者被害を防止する工夫



落下防止用のケーブル



落下防止用のケーブル



国立研究開発法人 土木研究所
構造物メンテナンス研究センター

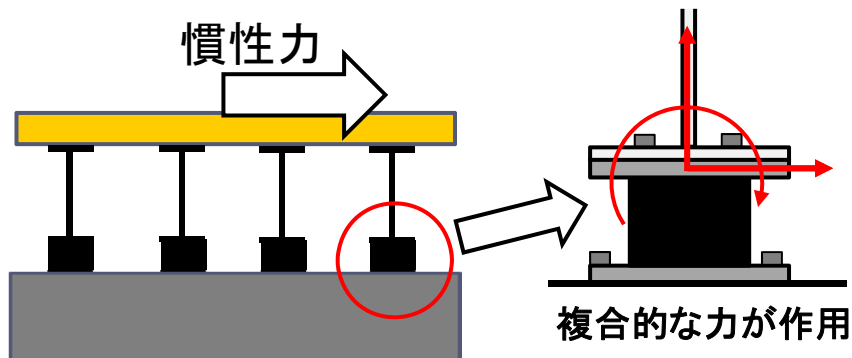
CAESAR(シーザー): Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research



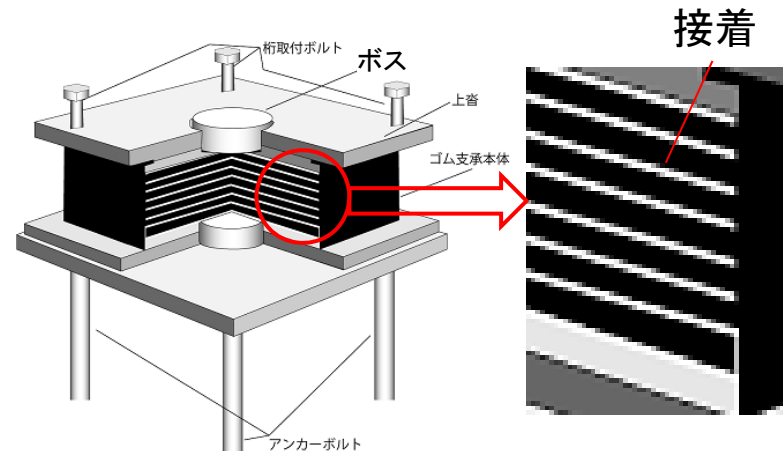
まとめ

今後の研究の必要性

- ・ 支承部に作用する力の算出方法



- ・ 接着性能の評価

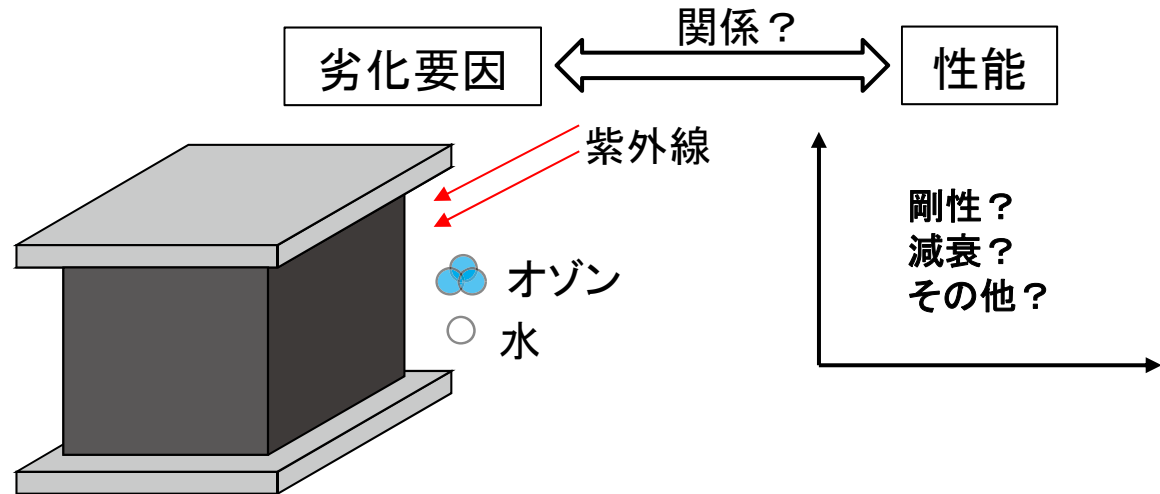


- ・ 耐久性試験方法
- ・ 新材料, 新構造の性能評価試験方法

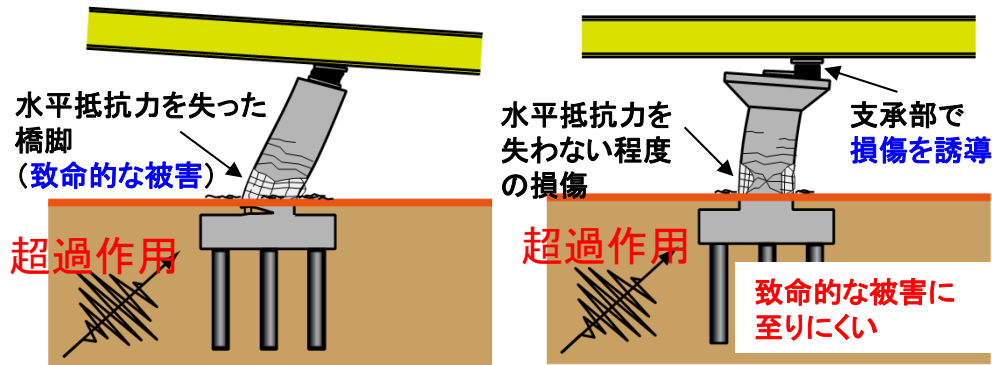
まとめ

今後の研究の必要性

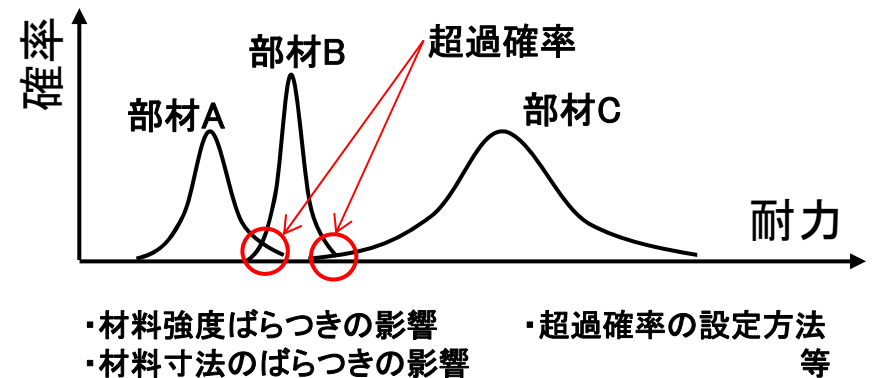
- ・残存性能の評価方法
- ・劣化要因と性能の関係



・損傷制御の必要性



・耐力階層化方法



まとめ

参考文献

- (社)日本道路協会:道路橋支承便覧, 2004.
- 道路橋の定期点検に関する参考資料(2013年版), 国総研資料第748号, 2013.
- (社)日本道路協会:道路橋示方書・同解説 I 共通編, 2017.
- 井上崇雅, 青木康素, 星隈順一:長期間供用されたパッド型ゴム支承の特性評価, 第19回性能に基づく橋梁等の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集, pp.413-418, 2016.
- 土木学会:道路橋支承部の点検・診断・維持管理技術, 2016.
- 高野真, 大住道生:地震により残留変形が生じたゴム支承の残存性能に関する検討, 第20回性能に基づく橋梁等の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集, pp. 171-176, 2017.
- 高野真, 大住道生:地震により残留変形が生じたゴム支承の状態変化が力学特性に及ぼす影響, 第21回性能に基づく橋梁等の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集, pp. 97-102, 2018.
- 1978年6月12日宮城県沖地震被害調査概報, 土木研究所資料第1422号, 1978.
- 平成28年(2016年)熊本地震土木施設被害調査報告, 国総研資料第967号, 土研資料第4359号
- 大住道生・西弘明・中尾尚史:超過作用に対する橋の損傷シナリオをデザインする新たな考え方, 土木技術資料, 60-4, pp.12-15, 2018.
- 中尾尚史・森屋圭浩・大住道生・星隈順一:津波を受ける橋の機能回復力向上のための技術開発, 土木技術資料, 59-6, pp.40-43, 2017.



国立研究開発法人 土木研究所

構造物メンテナンス研究センター

CAESAR(シーザー):Center for Advanced Engineering Structural Assessment and Research

