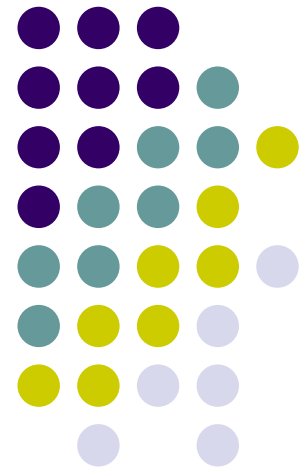


橋 脚 (講演の抜粋版)

大阪大学大学院
工学研究科 土木工学専攻
小野 潔

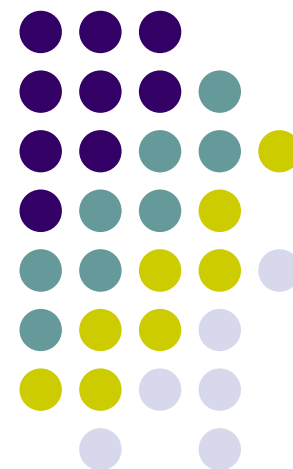




講義の主な項目

- 兵庫県南部地震における鋼製橋脚等の被災例
- 鋼製橋脚の耐震性能評価のための研究
(鋼製橋脚を対象とした正負交番載荷実験)
- 平成14年道示Vにおける鋼製橋脚耐震設計の考え方およびその具体的な規定

兵庫県南部地震における 鋼製橋脚等の被災例





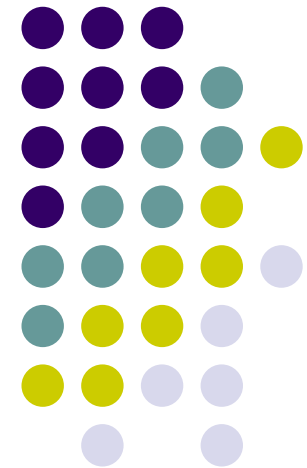
兵庫県南部地震における被害

- 比較的被害度の高いB以上の鋼製橋脚
→全体の14%(355基中51基)
- 2基の矩形断面鋼製橋脚が崩壊

(備考)

被災度B: 鋼材の座屈や部材の変形が部分的にみられるもの

鋼製橋脚の耐震性能評価のための研究





耐震性能評価のための共同研究

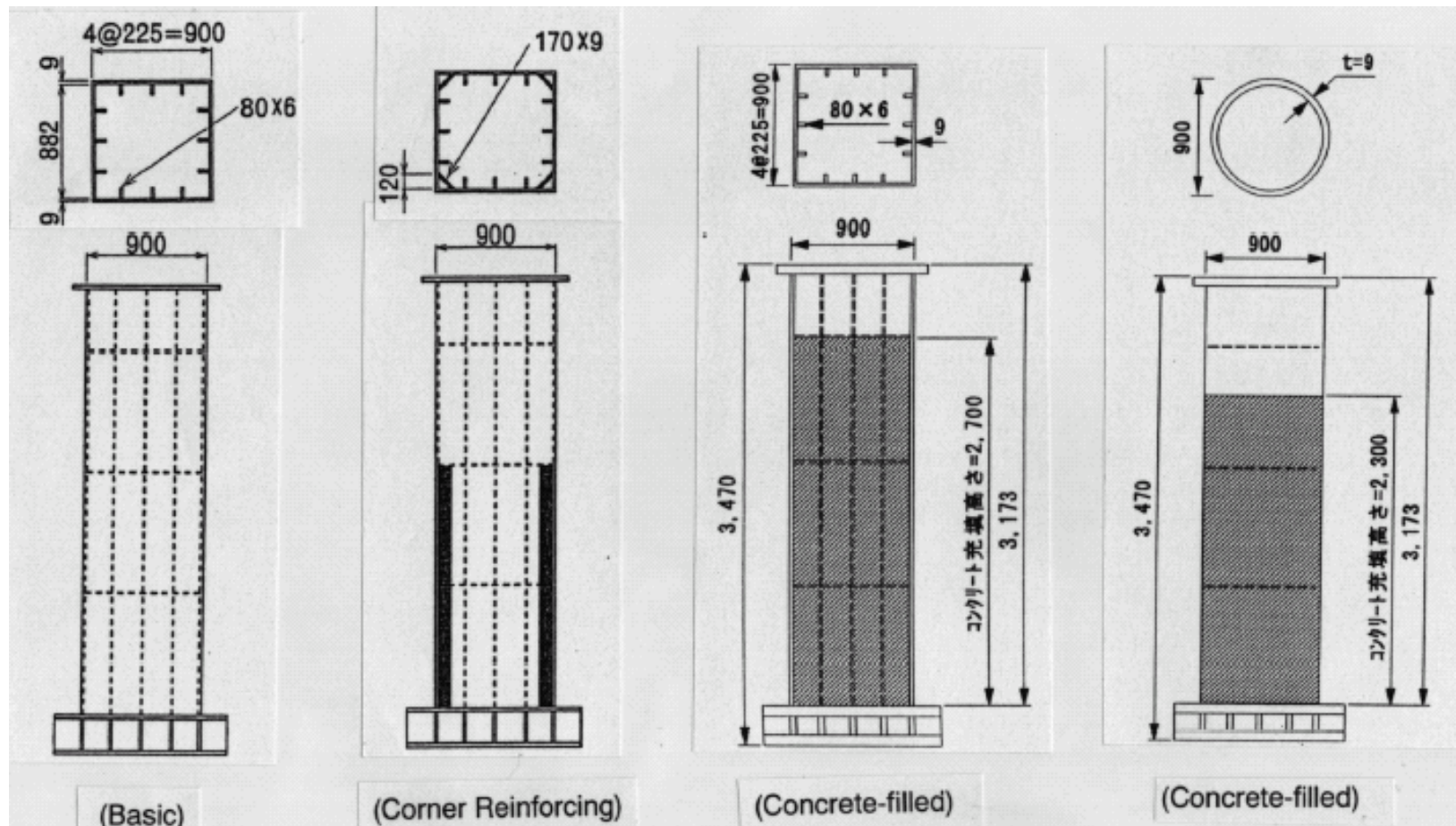
- 鋼製橋脚の耐震性能を評価し、
 - 塑性域での変形性能を考慮した設計法
 - 既設鋼製橋脚の補修・補強工法の開発のため、建設省土木研究所(当時)を中心とて、正負交番載荷実験等の実験を中心とした研究が行われた。



正負交番載荷実験の概要

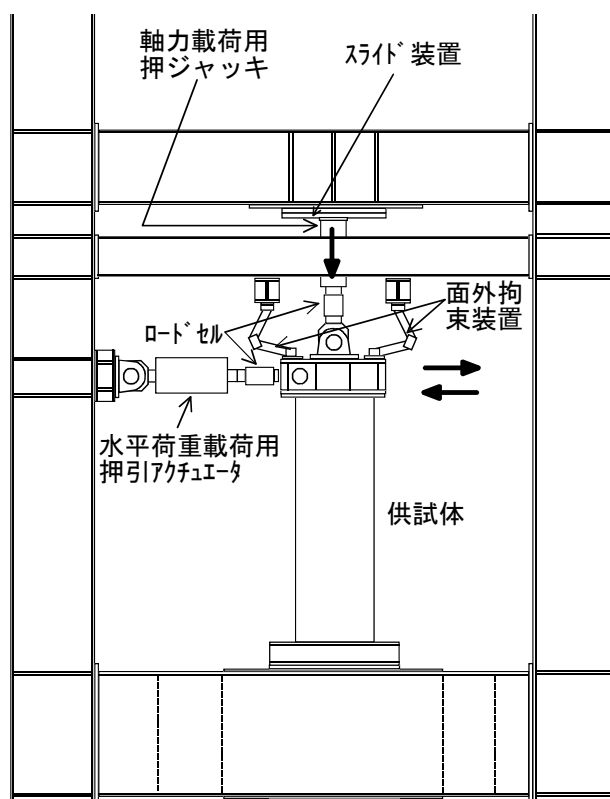
- 実橋脚の約1／3スケールといった大きな実験供試体を使用
- 実験供試体の数も約100体と今までにない規模の実験
- 今まであまり研究のされていない、コンクリートを充填しない鋼製橋脚を対象とした実験が大多数

実験供試体の例

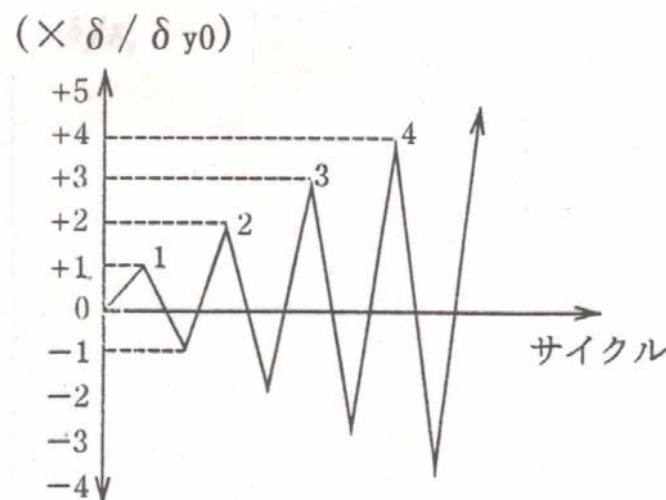




載荷装置および載荷パターン



● 載荷装置

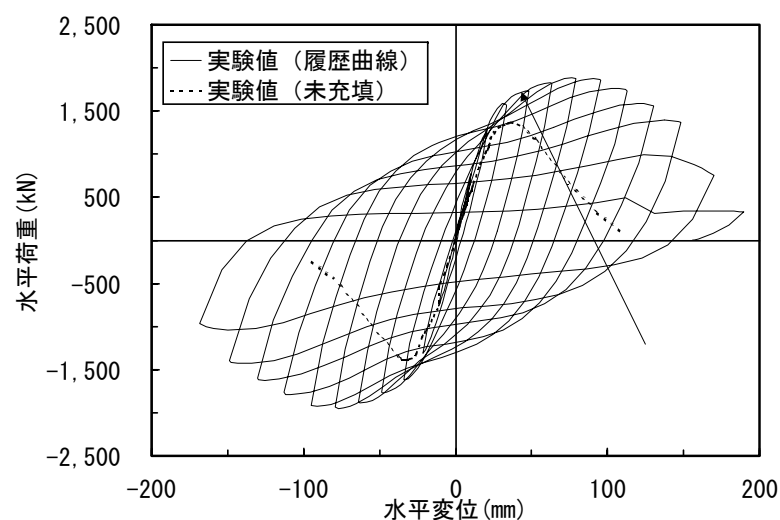


$$\delta_{y0} = \frac{P_{yN} h^3}{3EI} \quad P_{yN} = \left(\sigma_{yN} - \frac{N}{A} \right) \frac{Z}{h}$$

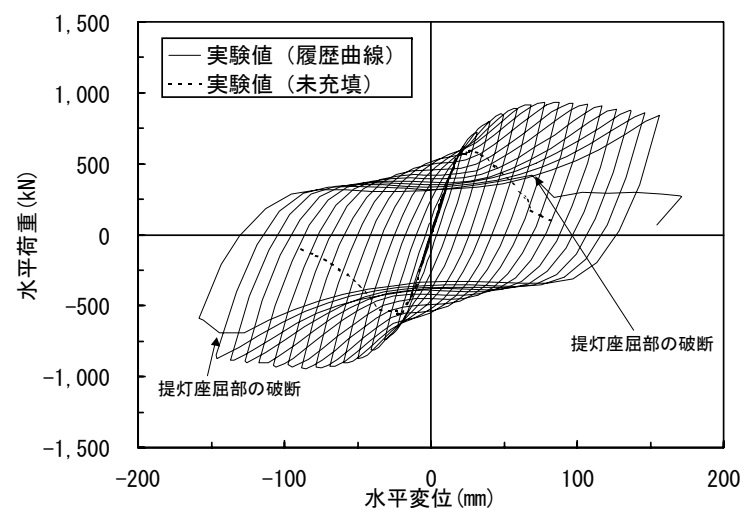
● 載荷パターン



実験結果(コンクリート充填)

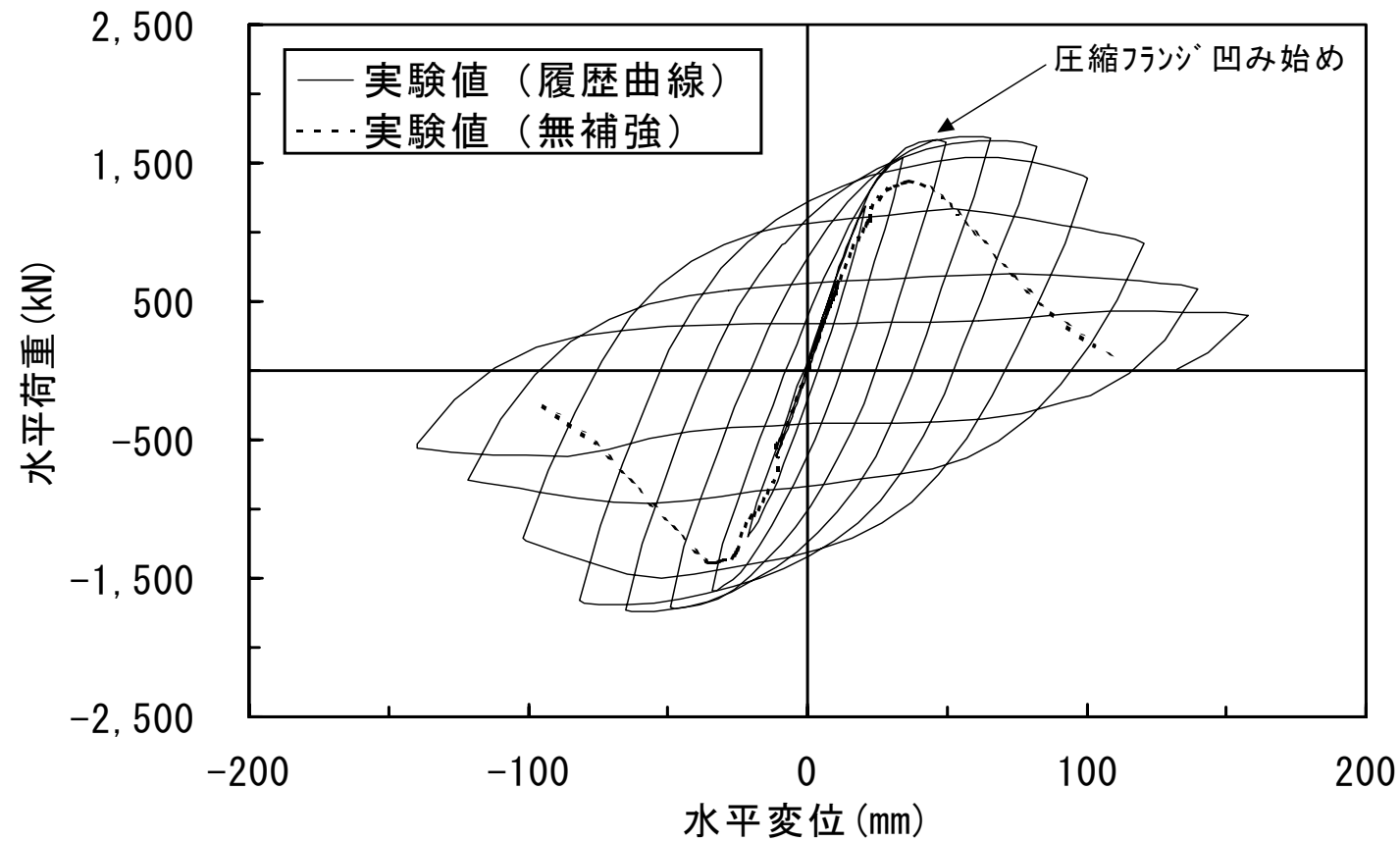


● 矩形断面

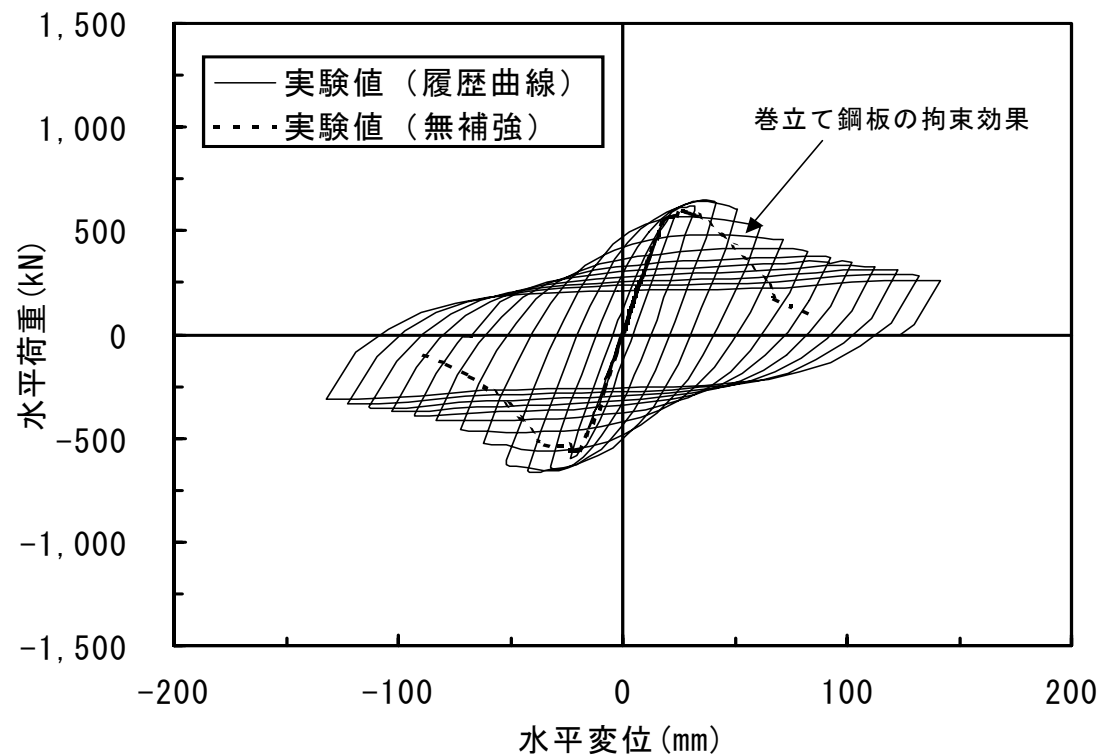
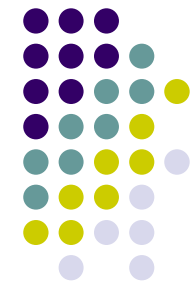


● 円形断面

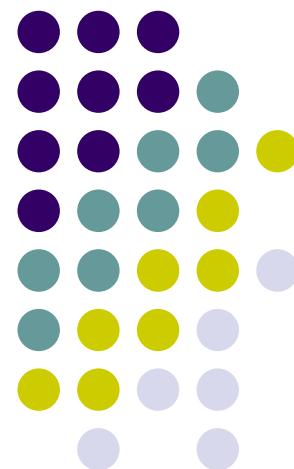
実験結果(角補強構造)



実験結果(鋼板巻き立て)



平成14年道示Vにおける 鋼製橋脚の耐震設計



道示 V における鋼製橋脚の耐震設計上の基本的考え方

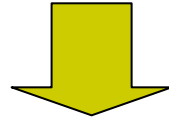


- ぜい性的な破壊モードの回避
- じん性の向上
- 非線形動的解析による耐震性能照査
- 残留変位の制限
- アンカー部の耐震設計



ぜい性的破壊モードの回避

- ぜい性的な破壊モード



- 上部構造等の死荷重に対する鉛直方向の耐力を失い、じん性の乏しいぜい性的をおこすような破壊形態

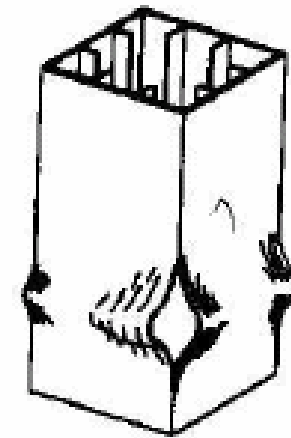


ぜい性的な破壊モード(矩形)

- 矩形断面鋼製橋脚のぜい性的破壊モード



矩形断面を構成する補剛板の角溶接部が縦方向に裂け、補剛板が分離する結果、上部構造等の死荷重に対する鉛直方向の耐力を失う状態



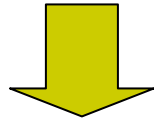
(a) 矩形断面橋脚における角割れ

- ぜい性的破壊モードのイメージ

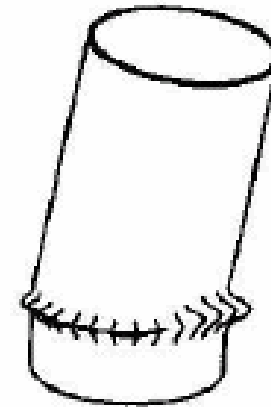


ぜい性的な破壊モード(円形)

- 円形断面鋼製橋脚のぜい性的破壊モード



最初に発生した1カ所の
局部座屈にその後の変形
が集中し、それに伴って橋
脚が傾斜したり、変形の進
展により円周方向に割れ
が生じた状態



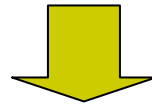
(b) 円形断面橋脚における変形の集中,
進展に伴う傾斜, 割れ

- ぜい性的な破壊モード
のイメージ



じん性の向上

- 鉄筋コンクリート橋脚と同様、変形性能（じん性）を考慮した設計法の導入

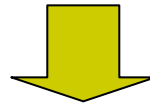


- 弾性域を超えた後も、最大水平荷重付近において急激に耐力が低下することなく、安定した塑性履歴曲線が得られる構造となるように設計



残留変位の制限

- 非線形域において過大な変形性能を許容すると大きな非線形応答変位が発生し、残留変位が大きくなる可能性



- 大きな残留変位が生じると地震後の使用性や復旧作業に悪影響



- 残留変位をある程度制限することが必要



アンカー部の耐震設計

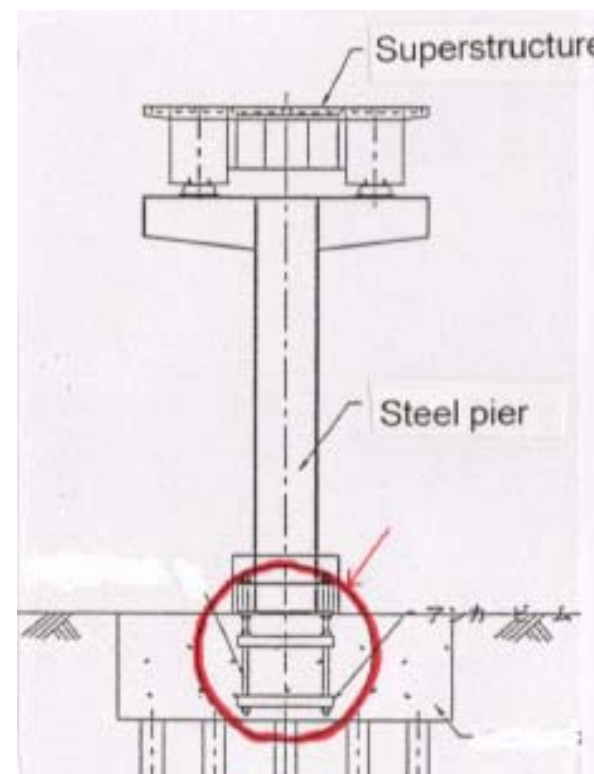
- アンカー部は、橋脚に作用する曲げモーメントおよびせん断力を基礎に伝達する重要な構造物あり、また復旧作業は困難



- 塑性変形を残さないように以下のことを基本とする。

アンカー部の耐力

$\geq$ 橋脚基部の耐力



アンカー部

具体的な鋼製橋脚の耐震設計の規定



- 構造細目（省略）
- 非線形動的解析による耐震性能照査手法
- 残留変位の照査法

非線形時刻歴応答解析による鋼製橋脚の耐震性能照査



- 鋼製橋脚の耐震性能は非線形時刻歴応答解析により照査(エネルギー一定則の適用が十分でない)
- 非線形履歴モデルとしてM- ϕ 関係(曲げモーメント-曲率関係)に基づくモデルの設定手法を明示
- 鋼材、コンクリートの応力-ひずみ関係を新たに定義



非線形履歴モデルの設定

- 耐震設計で対象とする限界状態(許容変位:限界状態に対応する変位)を適切に設定
- 限界状態までの鋼製橋脚の塑性履歴特性を適切表現可能な非線形履歴モデルの設定

許容変位の設定



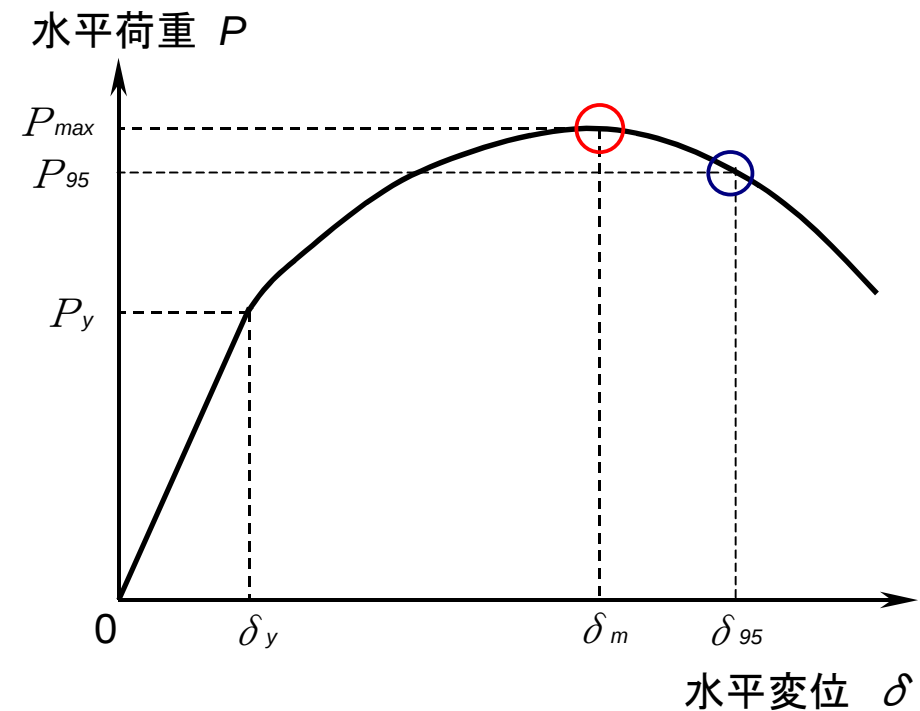
- 耐震性能の照査

$$\delta_a \geq \delta_R$$

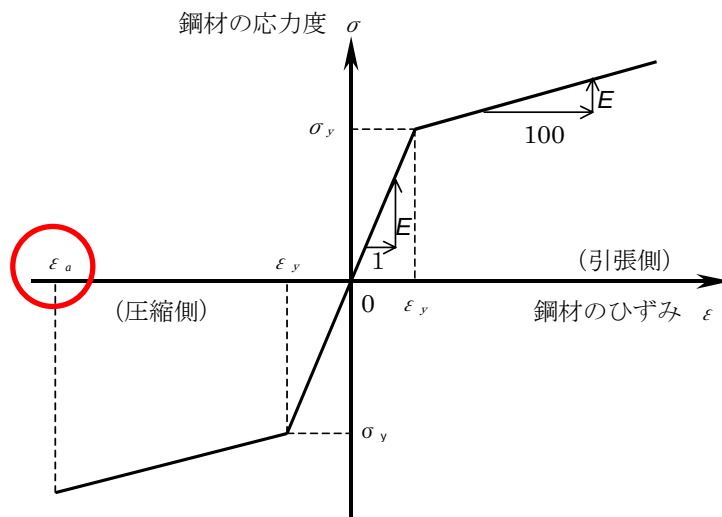
- 最大水平荷重時変位までであれば繰返しの影響を受けない等



- 最大水平荷重時変位を許容変位と定義



コンクリートを充填しない鋼製橋脚の M-φ 関係



- 鋼材の応力-ひずみ関係

- 許容ひずみ ε_a の算出
(矩形断面)

$$\varepsilon_a / \varepsilon_y = 20 - 25R_F$$

(注意: $R_F=0.5$ (一定値)ではない)

- (円形断面)

$$\varepsilon_a / \varepsilon_y = 20 - 140R_t$$

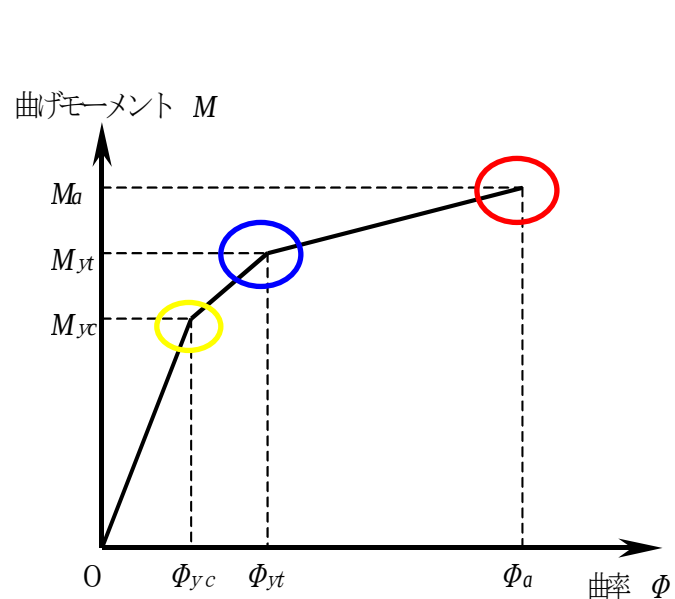
ここで、

ε_y : 鋼材の降伏ひずみ

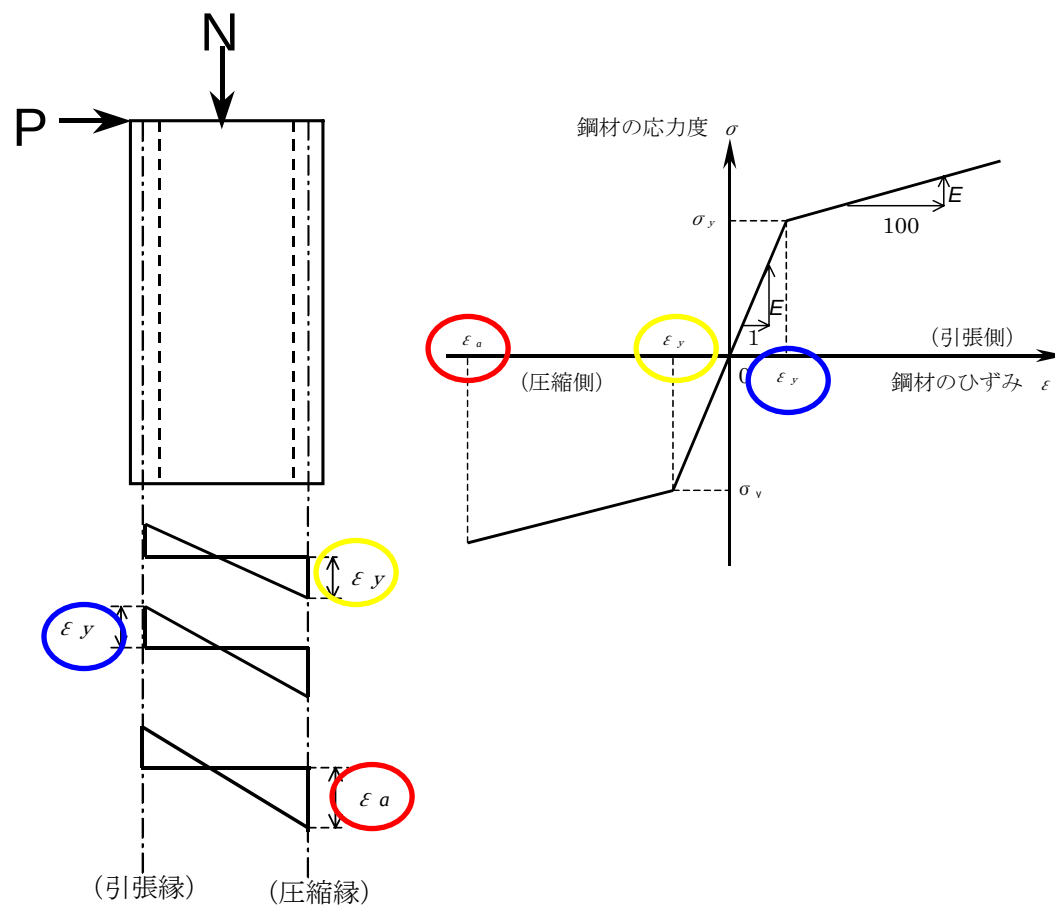
R_F : 幅厚比パラメータ

R_t : 径厚比パラメータ

トリリニア型のM- ϕ 関係

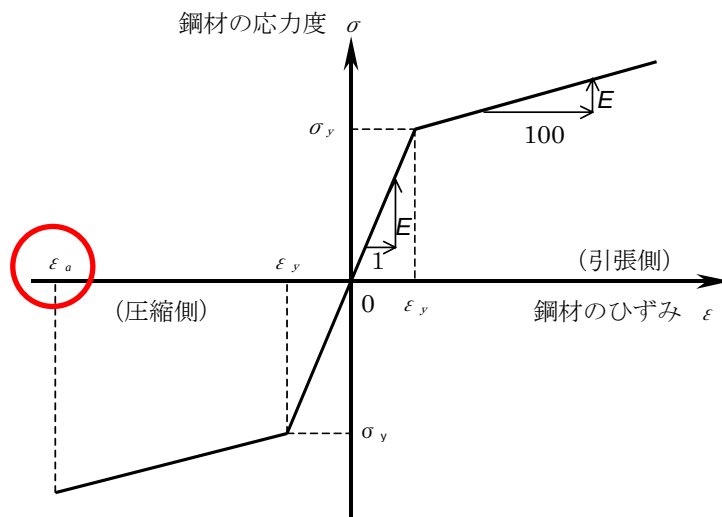


- トリリニア型の
M- ϕ 関係





コンクリートを充填した鋼製橋脚



- 鋼材の応力-ひずみ関係

- 許容ひずみ ε_a の算出
(矩形断面)

$$\varepsilon_a / \varepsilon_y = 7$$

- (円形断面)

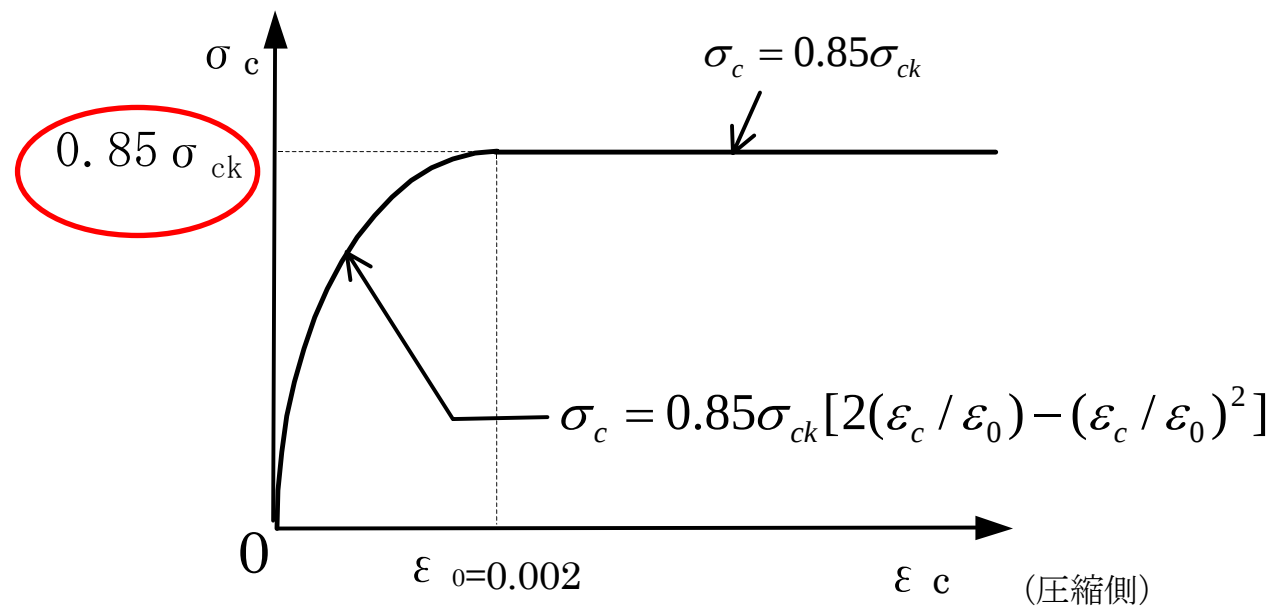
$$\varepsilon_a / \varepsilon_y = 5$$

ここで、

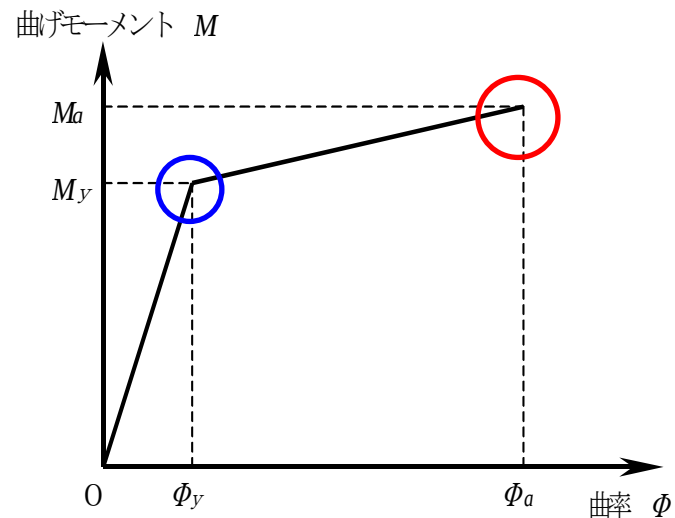
ε_y : 鋼材の降伏ひずみ



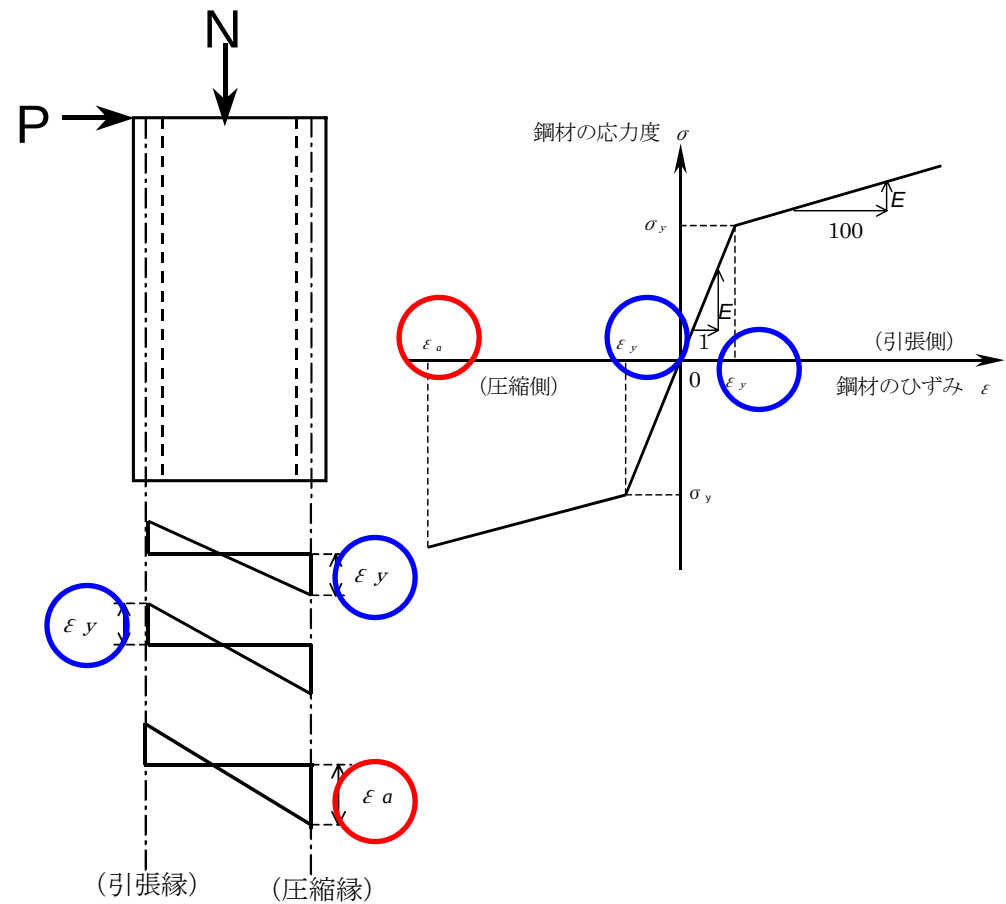
コンクリートの応力-ひずみ関係



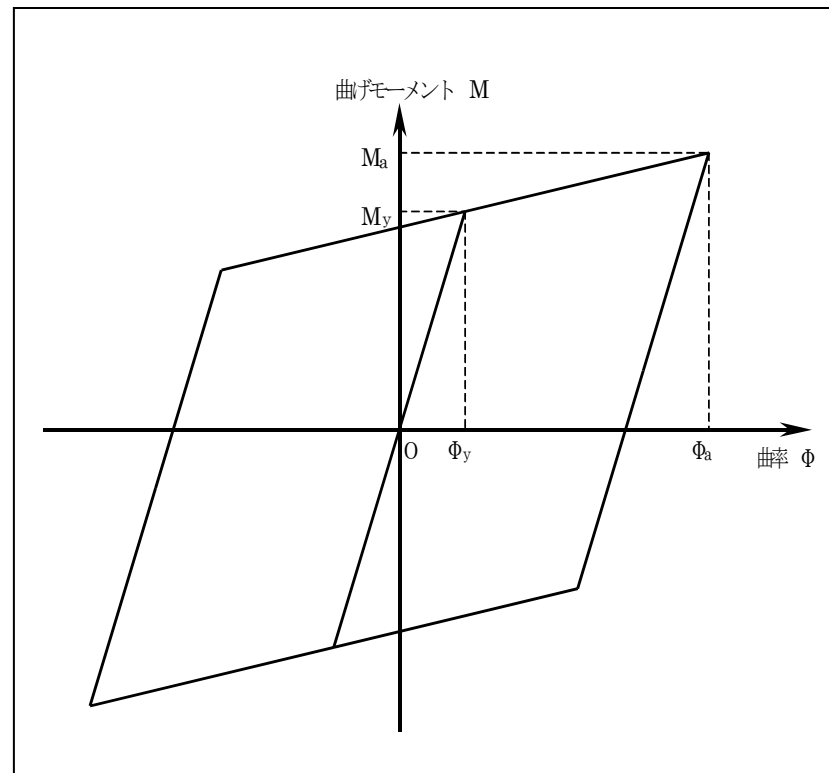
バイリニア型のM- ϕ 関係



- バイリニア型のM- ϕ 関係

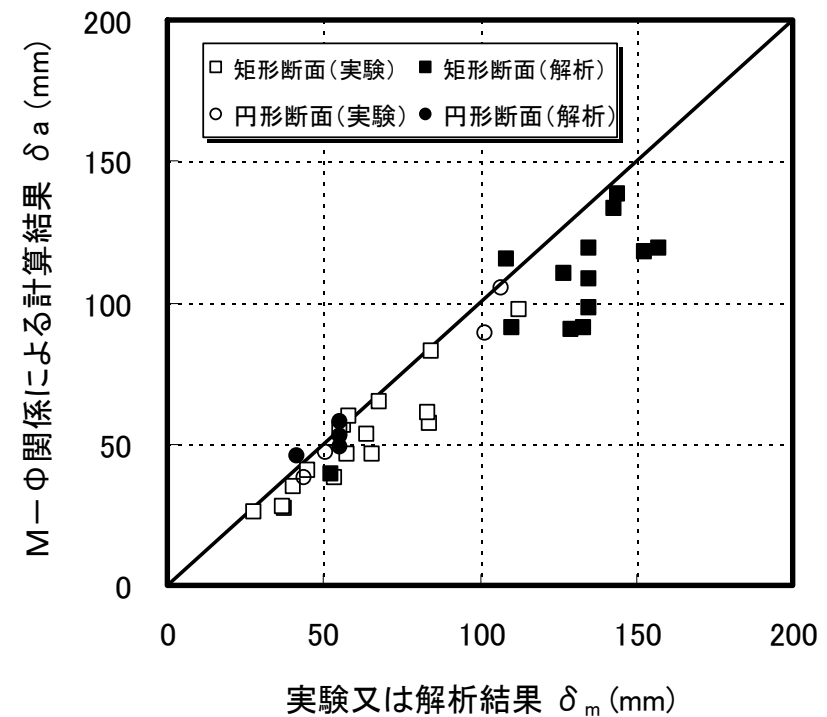
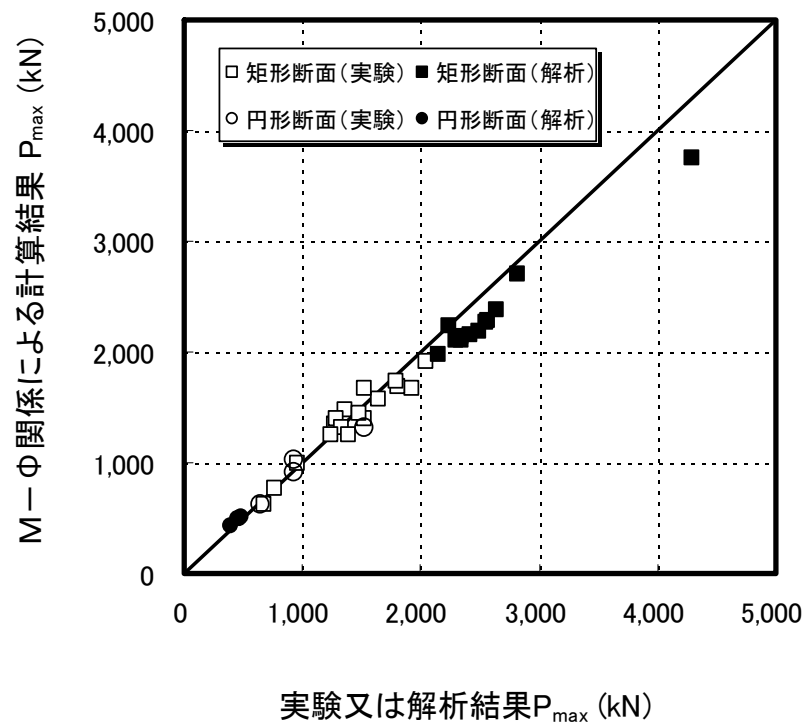


硬化則

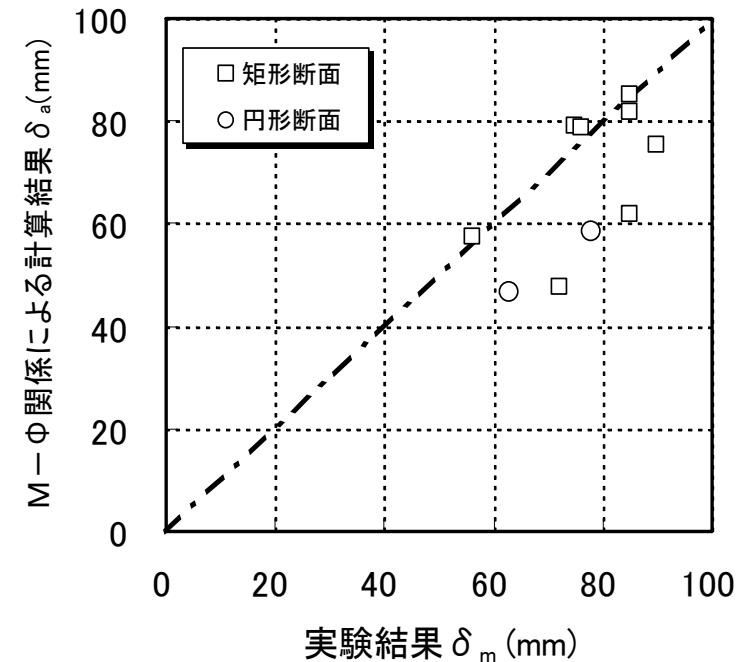
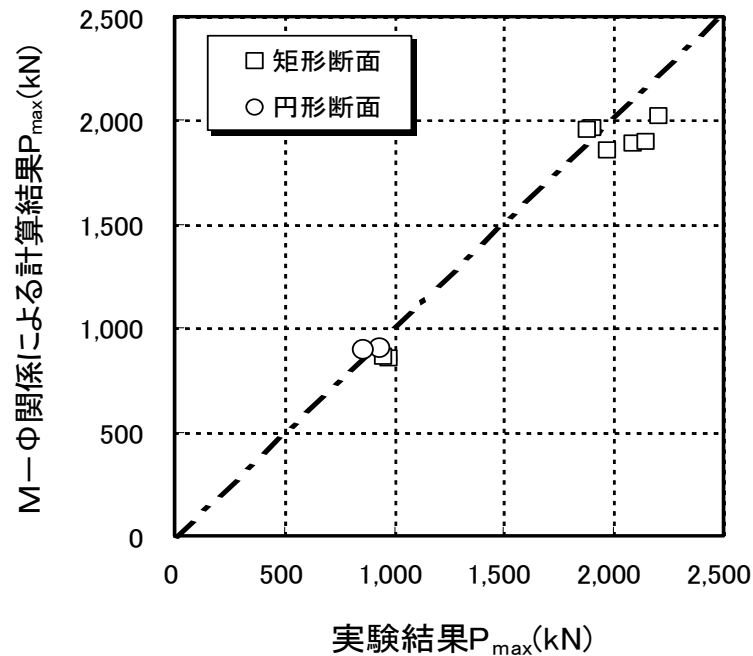


- 移動硬化型の硬化則(コンクリートを充填した鋼製橋脚の例)

M- ϕ 関係の妥当性の検証 (コンクリートを充填しない鋼製橋脚)



M- ϕ 関係の妥当性の検証 (コンクリートを充填した鋼製橋脚)



残留変位応答スペクトルに基づく残留変位の算出



- 残留変位の照査

$$\delta_R \leq \delta_{Ra}(=h/100)$$

- 残留変位算出式

$$\delta_R = C_R(\mu_r - 1)(1 - r)\delta_y$$

ここで、

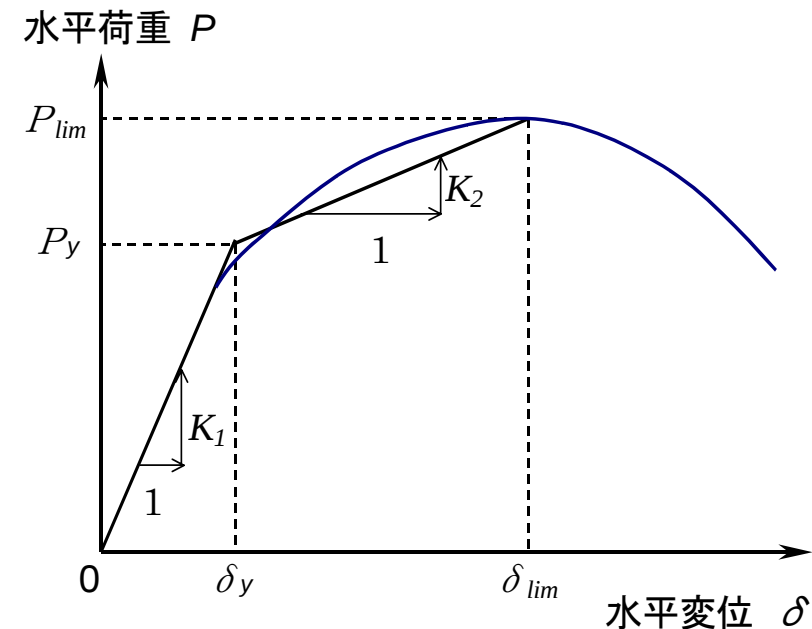
C_R : 残留変位補正係数

r : 剛比 ($=K_2/K_1$)

μ_r : 応答塑性率 ($\delta_{\max}/\delta_y$)

$\delta_{\max}$: 最大応答変位

δ_y : 降伏変位





C_R 、 r の値

- コンクリートを充填しない鋼製橋脚

$$C_R = 0.45 \quad r = 0.2$$

(H14道示で新たに規定)

- コンクリートを充填した鋼製橋脚

$$C_R = 0.35 \quad r = 0.05$$

(H8道示で既に規定)



設計水平震度の下限值

- 設計水平震度の下限值

$$P_a = 0.4 C_z W$$

ここで、

P_a : 非線形履歴モデルから求まる最大
水平力(= M_a/h)

C_z : 地域別補正係数

W : 地震時保有水平耐力法に用いる等
価重量