

# 後施工プレート定着型せん断補強鉄筋の適用性の拡充

建設技術審査証明報告書（財団法人 土木研究センター） 改訂（2011 年 8 月）の概要

府川 徹<sup>\*1</sup>・本谷 幸康<sup>\*2</sup>・岡本 晋<sup>\*3</sup>・福浦 尚之<sup>\*1</sup>・三桶 達夫<sup>\*1</sup>・堀口 賢一<sup>\*1</sup>・新藤 竹文<sup>\*4</sup>

**Keywords :** post-construction operation, shear reinforcement, high-strength re-bar, thick re-bar, deformation capacity

後施工、せん断補強、高強度鉄筋、太径鉄筋、変形性能

## 1. はじめに

後施工プレート定着型せん断補強鉄筋<sup>1)2)3)</sup>（Post-Head-bar, 以下 PHb と略記）は、RC 構造物のせん断耐力向上を目的とした耐震補強工法として開発され、2005 年に土木研究センターによる建設技術審査証明<sup>4)</sup>（以下審査証明（2005）と略記）を取得した。その後、2007 年に第 1 号の耐震補強工事を実施してから、2011 年 1 月末現在で 9 万本弱の PHb が施工されている。

審査証明（2005）では、構造細目に適合した構造物新設用スターラップの分担せん断耐力に対する、PHb の分担せん断耐力の比（以下せん断耐力の有効係数と略記）を、0.8 としてよいことが確認された。

PHb の性能は実験結果に基づいて評価されているので、審査証明（2005）には性能を発揮するための前提条件や適用範囲が定められている。そのため、せん断補強の必要性に迫られながら、審査証明（2005）の範囲に該当しない材料は使用できず、同じく該当しない構造物には適用が困難であるといった事象が生じた。

このような事象に対応するために、以下の適用性の拡充を盛り込んで、有効期限（5 年）を迎える審査証明（2005）を改訂することとなった。

- （1）使用できる鉄筋種類（径・強度）の追加
- （2）せん断耐力の有効係数の上限値の見直し
- （3）適用可能な構造物種別の拡充

本稿では、PHb の概要、事業展開後に寄せられた要望などを紹介しながら、2011 年 8 月に改訂された建設技術審査証明<sup>5)</sup>（以下審査証明（2011）と略記）の内容についてその概要を示す。

## 2. PHb の概要

地震動を受ける構造物の損傷を低減するために、免震・制振・耐震などの手法が適用される。一般に、建築構造物では免震・制振・耐震に基づく手法を、土木構造物では主に耐震に基づく手法を適用することが多いようである。本稿では、これまでの PHb の施工実績を踏まえて、土木構造物に限定して記述する。

後施工による耐震補強工法を選定する際には、地震動の大きさや要求される性能のほかに、①補強目的（せん断耐力／じん性）、②外力の作用方向（面内／面外）、③作業空間（部材の両面／片面、広さ）、④施工箇所での支障物の有無などを考慮する。

後施工による従来の耐震補強工法には、RC 巻立工法、鋼板接着工法、繊維接着工法、プレストレスによる拘束力導入工法など多様な補強方法がある。いずれの工法も長所と短所があるものの、高い補強効果を発揮するためには、当然ではあるが適切な工法の選定が重要である。

例えば地下構造物の壁部材では、主に面外せん断を補強目的とすることが多い。この場合、作業空間は片側（内空側）のみで、狭隘であったり支障物が存在するなど作業上の制約が厳しいことがある。また、構造物の使用上の機能として内法寸法を減少させてはならないなどの制約が生じることも多い。このような条件下では、従来工法による補強が困難であることから、補強の必要性を認識していても、補強に着手できない構造物が存在した。

PHb はそのような制約を解決し、耐震補強を可能とするために開発された技術である。

### 2.1 PHb の特徴

本節では PHb の特徴について整理する。図－1 に PHb の形状を、図－2 に PHb の補強概念を、表－1 に PHb の特徴とそれが解決する制約条件の整理を各々示す。

\* 1 技術センター土木技術研究所土木構工法研究室  
\* 2 土木本部土木設計部陸上第一設計室  
\* 3 成和リニューアルワークス(株)工事統括部  
\* 4 技術センター土木技術研究所

PHb は、図－1 に示すように、両端に鋼製プレートを摩擦圧接した鉄筋である。後施工という制約により、埋込側には円形の小径鋼製プレートを使用する。一方、手前側には定着性を高めるために、ヘッドバー<sup>6)</sup>と同じ思想で矩形プレートを使用する。

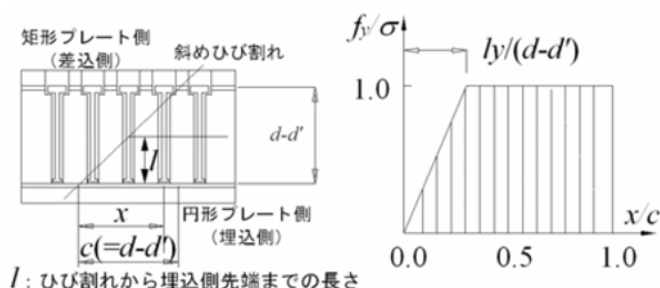
PHb を施工することで、図－2 に示すように、PHb が斜め引張りひび割れを跨ぐ。これにより、PHb がトラス理論の鉛直引張材として機能することで、せん断耐力を分担する。この時、手前側の矩形プレートは構造細目に適合した構造物新設用のスターラップと同等の定着性能を発揮する。しかし、埋込側の円形プレートの定着性能は、前述のスターラップのそれと比較して低い。そのため、規格降伏強度で引抜けを生じない必要定着長（図－2 b）中の  $l_y$ ）に満たない範囲においては、付着性能を線形で低減させる<sup>7)</sup>。

そして、図－2 b) のグラフは無次元化されているので、ハッチング部の面積が、PHb が分担するせん断耐力の構造細目に適合した構造物新設用のスターラップが発揮するせん断耐力（＝1）に対する比となる。この比をせん断耐力の有効係数  $\beta_{aw}$  と呼んでいる。なお、これらの詳細については審査証明（2005）に譲る。



図－1 Post-Head-bar (PHb)

Fig.1 Shear reinforcement with anchor plate (PHb)



a) 補強概念図  
a) Conceptual figure of shear reinforcement

b) 引張応力分担モデル  
b) Model of tensile stress contributing to shear capacity

図－2 PHb の概念

Fig.2 Concept of PHb

表－1 PHb の特長によって解決された制約条件<sup>8)</sup>

Table.1 Constraint solved by character of PHb

制約条件	Post-Head-bar の特徴
・短工期	① 供用休止期間が短いこと
・低コスト化	② 高価な背面地盤の掘削コストが不要なこと
・粉塵の低減	③ 第三者・作業員の健康と周辺環境への影響が少ないこと
・特別な維持管理の不要	④ 維持管理コストの抑制と維持管理による供用休止期間の減少
・施工空間の制限	⑤ 間仕切り壁・既存設備等による空間的制約を受けにくいこと
・資機材の軽量化・小型化	⑥ 資機材搬入経路が通路・人孔・歩道の制約を受けにくいこと
・移動・移転の不要	⑦ 既設の機械・設備等の移設を回避できること
・内空空間の確保	⑧ せん断補強により建築限界の制約が増加しないこと
・設計におけるせん断余裕の制約	⑨ 曲げ耐力を増すことなくせん断耐力だけを增加させること

## 2.2 審査証明（2005）の抜粋

本節では、審査証明（2005）において、実験結果に基づき確認された PHb の性能を示す。また、確認された PHb の性能は、以下に示す適用範囲において発揮される。

### 【審査証明の結果】

「Post-Head-bar」は、以下の性能があることが確認された。

#### (1) 力学的性能

##### ① 「Post-Head-bar」後施工によるせん断耐力

「Post-Head-bar」の鉄筋径 D16,D19,D22 に対して適用部材の最小厚さを各々300mm,350mm,400mmとした場合に、せん断耐力向上の効果を、通常の方法でせん断補強した部材のせん断鉄筋によるせん断耐力寄与分の 0.8 倍として評価できることが確認された。

##### ② 「Post-Head-bar」後施工によるじん性

通常の方法でせん断補強した部材の主鉄筋座屈が生じるまでの変形レベルと同等のじん性率が確保されることが確認された。

#### (2) 施工性

##### ① 適用部材

背面に地盤などがあり、片側からしか施工できない部材のせん断補強に適用できることが確認された。

##### ② 施工の容易性の評価

狭大な空間や複雑な部位において、大型機械によらずに短時間に施工できる作業の容易さがあることが確認された。

## 【審査証明の範囲】

以下の全ての条件に該当するものに適用する。

- 1) 既設コンクリート構造物の後施工によるせん断補強の目的で用いる。
- 2) 既存構造物の片側面からの補強施工に適用する。
- 3) 地震時の応答変位量が限定される土中構造物などの補強に主に適用する。

## 2.3 事業展開後に寄せられた要望

PHb は、2007 年の適用を皮切りに、2011 年 1 月末現在で 9 万本弱が施工されている。しかし、適用事例が増えるにつれて、PHb の適用性を拡充できないかという要望が高まった。その代表的な要望は、下記の 3 項目に集約される。

- (1) 使用できる鉄筋種類（径・強度）の追加
- (2) せん断耐力の有効係数の見直し
- (3) 適用可能な構造物種別の拡充

(1)(2)については、主に経済性の観点からの要望である。一般に、せん断補強効果の観点からは細径のせん断補強鉄筋を密に配置することが望ましいが、経済性の観点からは配置本数が少ないほど施工費を低減できる。この点については、効果と経済性のバランスがとれた適切な補強を行うことが重要である。

以下に代表的な要望について概要を述べる。

- (1) 使用できる鉄筋種（径・強度）の追加

2.2 で述べたように、審査証明（2005）では、3 種類の PHb（D16・D19・D22）の性能が確認されていた。

しかし、せん断補強鉄筋の最大配置間隔には構造細目の制約<sup>9)</sup>があり、使用できる鉄筋の種類が少ない場合には、以下のように経済性を追求できない事象があった。

- 1) 使用可能な最大鉄筋径が D22 なので、必要補強鋼材量から定まる配置間隔が、厚い部材において構造細目から定まる配置間隔より狭いことで、配置本数を最小にすることが困難となる。
- 2) 使用可能な最小鉄筋径が D16 なので、必要補強鉄筋量から定まる配置間隔が、薄い部材において構造細目から定まる配置間隔より広いことで、不経済な配置となる。
- 3) コンクリート標準示方書[設計編]（以下、コ示設計編と略記）ではせん断補強鉄筋の設計降伏強度を  $400\text{N/mm}^2$  以下としている。使用可能な鉄筋の材質が SD295・SD345 であり、SD390 が適用できないことで、配置本数を最小にすることが困難となる。

- (2) せん断耐力の有効係数の見直し

図-3 に示すように、実験で得られたせん断耐力の有

効係数（0.89）と、同有効係数のモデル式<sup>8)</sup>（式（1））の計算値とが良く整合したので、審査証明（2005）では式（1）を適用できることが確認された。しかし、安全側の設計とするために、使用する鉄筋径ごとに適用できる最小部材厚を規定して、せん断耐力の有効係数を 0.8（一定値）と定めた。そのため、0.8 よりも大きい有効係数を期待できる厚い部材では経済性を追求できない事象があった。

$$\beta_{aw} = 1 - \frac{l_y}{2(d-d')} \quad \text{if } (d-d') > l_y \quad (1)$$

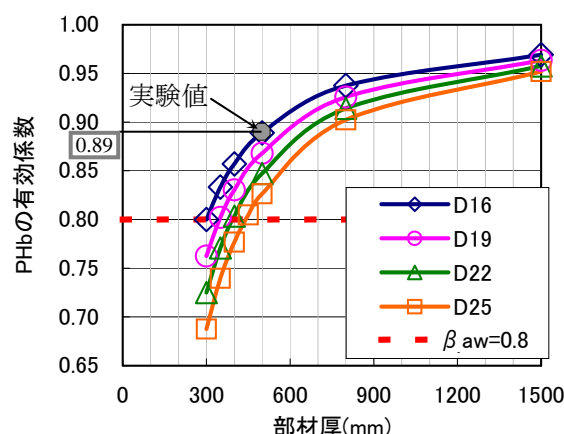


図-3 せん断耐力の有効係数（2005）

Fig.3 Effective coefficient of shear capacity (2005)

- (3) 適用可能な構造物種別の拡充

構造物の種別の観点からは、2.2 に示した審査証明の範囲によって、PHb の適用が地震時の応答変位が限定される土中構造物に制約されていることがわかる。

一方で、水門・樋門の門柱・堰柱、地上部と一連の地下構造部、あるいは背面が地盤と接するラーメン式橋台など、せん断補強の必要性に迫られながら、審査証明の範囲に該当しないことから、それらの構造物への適用が困難な事象があった。

(1)～(3)の適用性を拡充するためには、PHb がその性能を発揮できる適用範囲の検証が必要である。その目的で実施した追加検討の概要を次章で整理する。

## 3. 建設技術審査証明（2011）の概要

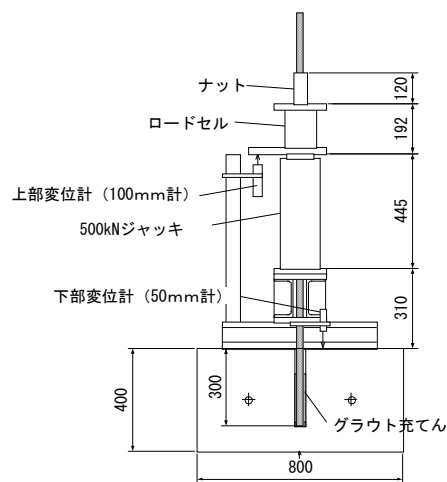
## 3.1 適用性の拡充に向けた追加検討

本節では、適用性の拡充のために実施した追加検討と、その結果に基づく審査証明の改訂内容について述べる。

各検討項目について、確認項目・実施した実験・検討指標の概要を表-2 に、実施した実験の載荷概要図を図-4～図-6 に示す。

表－2 検討概要  
Table.2 Abstract of study

拡張項目	確認項目	実施した実験	検討指標
(1) 鉄筋径・鉄筋強度	先端定着長	先端定着長確認試験	規格降伏強度で引抜けを生じない必要定着長
(2) せん断耐力の有効係数	せん断耐力の実験値と計算値の比較	正負交番繰返し載荷試験 (はり)	せん断耐力の有効係数の上限値と下限値
(3) 変形性能	コシ設計編の骨格曲線と実験値の比較	正負交番繰返し載荷試験 (壁・柱)	塑性ヒンジ部の回転角に寄与する鋼材量



図－4 定着長確認試験の載荷図

Fig.4 Loading plan of verification test for required bond length

### 3.2 実験および検討結果の概要

#### (1) 鉄筋径・鉄筋強度

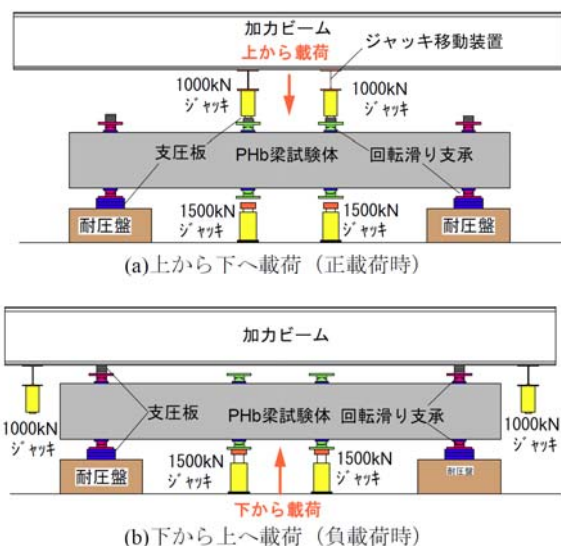
定着長確認試験から必要定着長を求めた。詳細は審査証明 (2011) に譲り、検討結果のみを表－3 に示す。

表－3 各鉄筋径に対する必要定着長 (D: 鉄筋径)  
Table.3 Required development length according to both diameter and design tensile strength of re-bars

and design tensile strength of re bars		
鋼種 鉄筋径	SD295A・B SD345	SD390
D13	3. 5D	4. 0D
D16	5. 0D	5. 5D
D19		
D22		
D25	5. 5D	
D29		
D32		

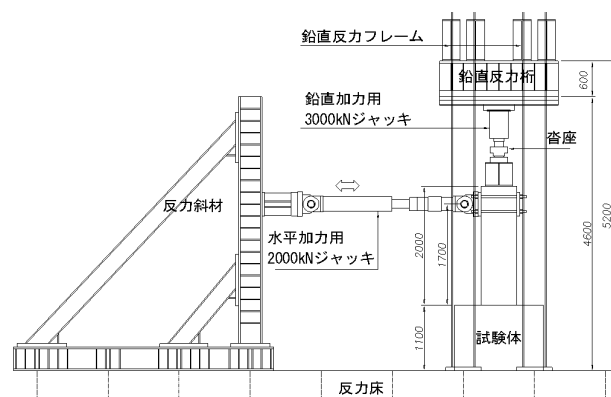
#### (2) せん断耐力の有効係数

審査証明 (2005) 時の試験体 (鋼種・鉄筋径が SD345・D16 の PHb を用いたはり) と追加実験<sup>10)</sup>時の試験体 (同 SD345・D29 および SD390・D25 の PHb を用いたはり) について、式 (1) および表－3 から算出した場合と載荷試験結果から算出した場合のせん断耐力の有効係数を表－4 に示す。いずれの試験体でも後者が前者と同等以上であったので、表－3 に示す鉄筋径・強度の PHb を用いた場合のせん断耐力の有効係数は、式 (1) を用いて図－7 のように算出できることとなった。ただし、同係数の下限値はモデル式の物理的な適用限界 (式 (1) において  $d-d'=l_y$ ) から 0.5、同上限値は載荷試験結果から 0.9 と設定された。また、 $0.5 \leq$  同係数  $< 0.8$  の領域は審査証明 (2005) の結果および追加実験結果の外挿範囲であり、かつ、軸方向鉄筋間隔の変化に対する同係数の変化が鋭敏なので、適用に際しては注意を要する。



図－5 せん断耐力に関する試験体載荷図

Fig.5 Loading plan of specimen for shear capacity test



図－6 変形性能に関する試験体載荷図

Fig.6 Loading plan of specimen for deformation capacity test



### (3) 変形性能

PHb の適用が望まれる半地下構造物や地上構造物は、審査証明(2005)が適用対象としていた土中構造物と比較して応答変位量が大きくなるので、変形性能の確認が必須となる。そのためには、検討対象部材の応答変位と最大耐力力が、コンクリート標準示方書[設計編]の骨格曲線を侵さないことを確認すればよいと考えた<sup>11)</sup>。

検討の概略手順を以下に示す。

- 1) 図-8に示す試験体の載荷実験から荷重変位関係を得る。各供試体の諸元を表-5に示す。
- 2) 図-9に示すように、骨格曲線の算定時に、実験値と骨格曲線の最大耐力力点での変位を一致させるような塑性ヒンジ部の回転角が得られる帯鉄筋比を定める。

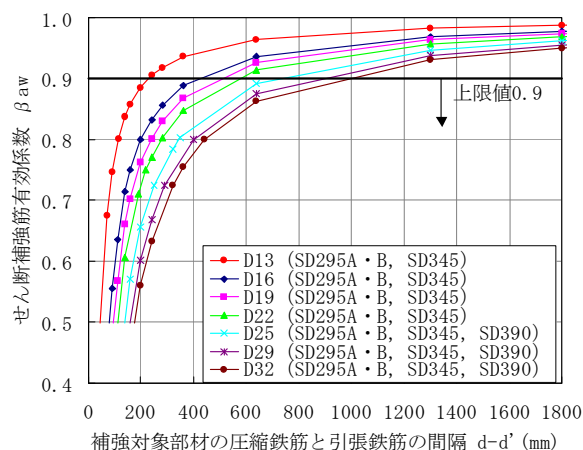


図-7 せん断耐力の有効係数 (2011)

Fig.7 Effective coefficient of shear capacity (2011)

表-4 せん断耐力の有効係数の実験値と計算値の比較

Table.4 Comparison of calculated effective coefficient of shear capacity between design model-based and experiment-based

試験ケース	せん断補強鉄筋 PHb 仕様	配置方法	必要定着長 $l_y$ (鉄筋径の倍数) (単位: mm)	主鉄筋間距離 (部材厚) (単位: mm)	式(1)による有効係数の計算値 $\beta_{aw}$	実験に基づく有効係数の算出値 $\beta_{exp}$	備考
CASE2	SD345 D16	平行配置	80 (5.0D)	360 (500)	0.89	(0.72)	注) ( ) 内の値は載荷装置の制御不良による 2005 審査証明範囲
CASE4			80 (5.0D)	360 (500)	0.89	0.89	
CASE5			80 (5.0D)	360 (500)	0.89	0.90	
CASE3-2	SD345 D29	平行配置	159.5 (5.5D)	560 (800)	0.86	0.87 (平均)	
CASE3-3			159.5 (5.5D)	560 (800)	0.86		
CASE3-4			159.5 (5.5D)	560 (800)	0.86	0.99	
CASE3-5		千鳥配置	159.5 (5.5D)	560 (800)	0.86	0.97	
CASE4-1	SD390 D25	平行配置	137.5 (5.5D)	560 (800)	0.88	0.90	

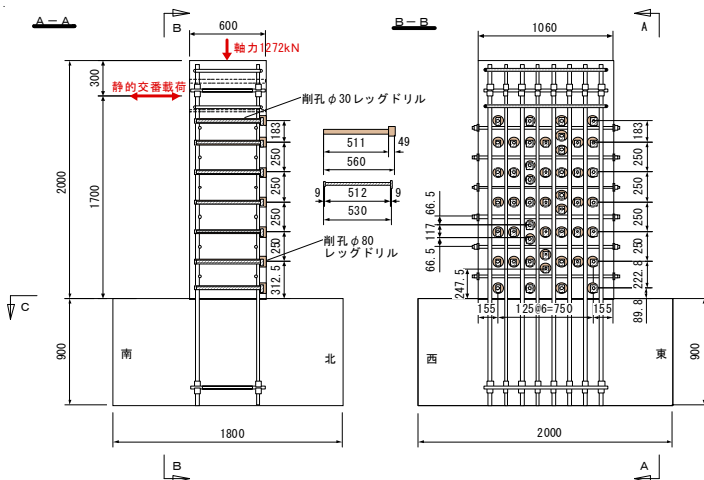
表-5 変形性能試験体の緒元

Table.5 Size of specimen for deformation capacity test

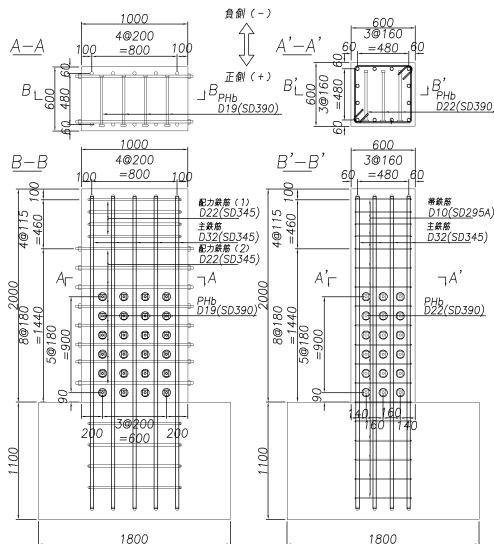
試験ケース		CASE2	CASE4	CASE5
想定部材		壁部材	壁部材	柱部材
断面寸法 (mm)		600×1060	600×1000	600×600
せん断スパン比		3.15		
コンクリート圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )		44.2	36.8	36.5
軸方向鉄筋比 (%)		0.97 (SD345 D22@125)	1.32 (SD345 D32@200)	2.64 (SD345 D32@160)
せん断補強鉄筋比 (%)	補強前	—	—	0.13 (SD295A D10@180)
	補強後	0.60 (SD345 D16@250)	0.64 (SD390 D19@180)	1.21 (SD390 D22@180)
せん断余裕度	補強前	0.93	0.78	0.81
	補強後 ( $\beta_{aw}=0.8$ )	2.49	2.33	2.29
軸圧縮応力 (N/mm <sup>2</sup> )		2.0	3.0	6.0

\* ( ) 内は鉄筋配置を示す。

- 3) 図-10に示すように、各実験ケースごとに2)で求めた帯鉄筋比と試験体のせん断補強鉄筋比を比較して、塑性ヒンジ部の回転角の計算式に代入できる帯鉄筋比の上限値を定める。
- 3体の载荷試験結果に基づく検討結果から、既存のせん断補強鉄筋と PHb の両者の寄与による効果として、塑性ヒンジ部の回転角の計算式に代入できる帯鉄筋比の上限値を、圧縮領域が埋込側となる場合で0.15%、差込側となる場合で0.30%と定めた。



a) 壁試験体 (CASE2)  
a) Wall-type specimen (CASE2)

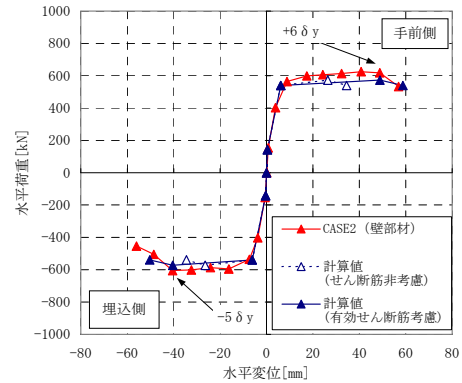


b) 壁試験体 (CASE4)  
b) Wall-type specimen (CASE4)

c) 柱試験体 (CASE5)  
c) Column-type specimen (CASE5)

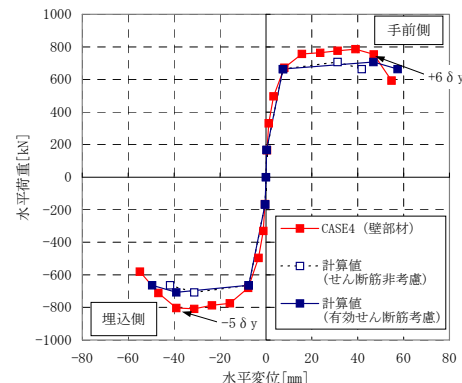
図-8 変形性能に関する試験体概要図

Fig.8 Simple figure of specimen deformation capacity test



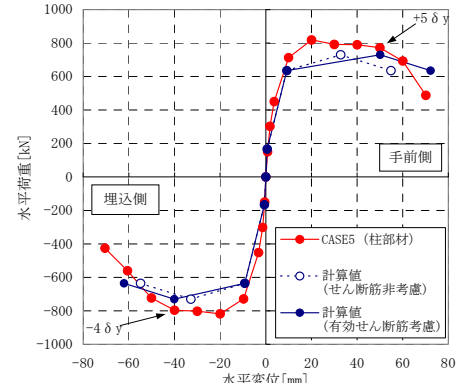
a) 壁試験体 (CASE2)

a) Wall-type specimen (CASE2)



b) 壁試験体 (CASE4)

b) Wall-type specimen (CASE4)



c) 柱試験体 (CASE5)

c) Column-type specimen (CASE5)

図-9 最大耐力力点変位のフィッティング

Fig.9 Fitting displacement at maximum capacity point

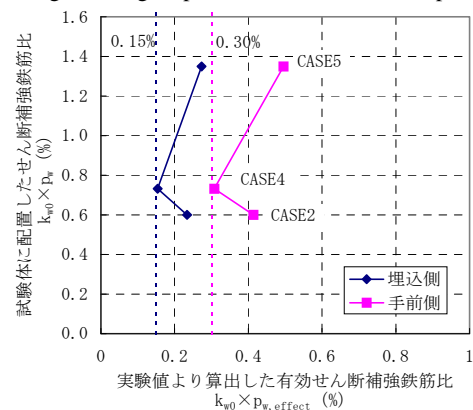
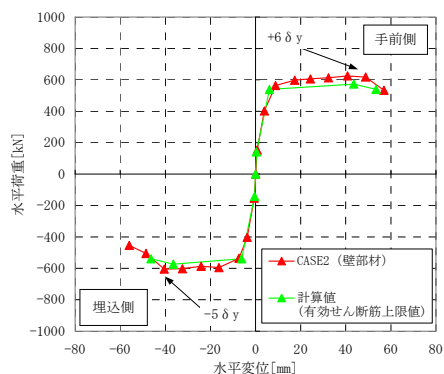


図-10 帯鉄筋比の上限値

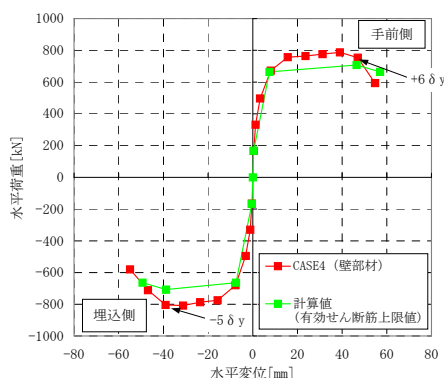
Fig.10 Limit applicable ratio of lateral reinforcement

4) 図-11に塑性ヒンジ部の回転角の計算式に埋込側で0.15%, 差込側で0.30%を代入した場合の骨格曲線と実験値の比較を示す。最大耐荷力点までの実験値は, このようにして得られた骨格曲線を侵さないことがわかる。

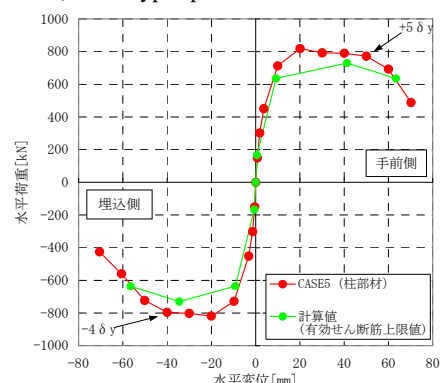
なお, 変形性能確認の際には, 表-5に示す試験体の諸元を参考にするとよい。



a) 壁試験体 (CASE2)  
a) Wall-type specimen (CASE2)



b) 壁試験体 (CASE4)  
b) Wall-type specimen (CASE4)



c) 柱試験体 (CASE5)  
c) Column-type specimen (CASE5)

図-11 帯鉄筋比の上限値を考慮した変形性能

Fig.11 Deformation capacity with limit applicable ratio of lateral reinforcement

### 3.3 審査証明(2011)の抜粋

前述の実験・検討・委員会審議を経て, 2011年8月に審査証明が改訂された。以下にその抜粋を示す。

#### 【審査証明の結果】

「Post-Head-bar」は以下の性能があることが確認された。

##### (1) 力学的性能

###### ①後施工せん断補強鉄筋の定着性能

後施工せん断補強鉄筋の実降伏荷重を発揮するために必要な埋込側の定着長が, 鉄筋種類および鉄筋径に応じて表-3に示す値としてよい事が確認された。

###### ②施工後のせん断耐力

Post-Head-barのせん断耐力への寄与分は, 新設構造物に一般に用いられている半円形フックタイプのせん断補強鉄筋が受け持つせん断耐力の算定方法において Post-Head-barの規格降伏強度を使用して求めた値に対し, 適用部材の軸方向鉄筋間隔および Post-Head-bar埋込側の必要定着長から評価されるせん断耐力の有効係数を乗じたものとして評価できることが確認された。ただし, せん断耐力の有効係数の上限値は0.9とする。

###### ③施工後の変形性能

新設構造物で一般に用いられる半円形フックタイプのせん断補強鉄筋を用いた部材の軸方向鉄筋の座屈が生じるまでの変形レベルと同等のじん性率が確保されることが確認された。

補強後の部材の骨格曲線は, 補強前のせん断補強鉄筋と Post-Head-barを合わせた実配置に対し, 変形性能に寄与する補強後のせん断補強鉄筋量の設定値に上限を設けた部材として算定できることが確認された。ただし, 変形性能に寄与する補強後のせん断補強鉄筋量の上限値は, Post-Head-barの手前側で0.30%, 埋込側で0.15%とする。

##### (2) 施工性

###### ①適用部材

背面に地盤・機器などの障害物などがあることで片側からしか施工できないRC部材に対しても, せん断補強できることが確認された。

###### ②施工の容易性の評価

狭い空間や複雑な部位において, 大型機材によらずに短時間に施工できる作業の容易さがあることが確認された。

#### 【審査証明の範囲】

- 1) 地震時の変形量が限定される地中構造物など, 背面に地盤などがあり片側からしか施工できない制限を有する既設コンクリート構造物に対して, 後施工によるせん断補強の目的で用いる。
- 2) 堰, 水門, 橋台や橋脚等の既設の半地下および地上構造物に適用する場合には, 地中構造物の場合

と同様にせん断補強の目的で用いるものとし、現状で曲げ破壊モードにある構造物の変形性能の更なる改善を目的とする補強に用いてはならない。さらに、変形の応答は変形性能に寄与する補強後のせん断補強鉄筋量の上限を **Post-Head-bar** の手前側で 0.30%、埋込側で 0.15% として求めた部材の骨格曲線の範囲内であること。

## 4. おわりに

**PHb** は、適切な工法の選定が困難で耐震補強に着手できなかった構造物に対して、耐震補強の可能性を広げた。今回の改訂により、**PHb** の適用性がさらに拡充された。

- (1) 使用できる鉄筋種類  
径：D13～D32，強度：SD295～SD390)
- (2) せん断耐力の有効係数の見直し  
上限値：0.9，評価方法：定数ではなく，適用部材の軸方向鉄筋間隔および **Post-Head-bar** 埋込側の必要定着長から評価可能
- (3) 適用可能な構造物種別の拡充  
地震時の変形量が限定される地中構造物に加え、堰、水門、橋台等の既設の半地下および地上構造物に適用可能

ただし、例えば下記のような適用上の留意点がある。

- (1) 使用する鉄筋の必要定着長の適用  
使用する鉄筋径・鉄筋強度に対して必要定着長が異なることに留意
- (2) せん断耐力の有効係数の適用  
 $0.5 \leq \text{せん断耐力の有効係数} < 0.8$  の範囲での適用に留意
- (3) 既設の半地下および地上構造物への適用
  - 1) 橋脚の耐震補強で一般的な鋼板あるいは **RC** 巻立て工法等が適用困難な条件下においては橋脚への適用も考える。
  - 2) 変形の応答値を評価して変形性能に対する安全性を確認した上で使用する。

- 3) せん断補強を目的とし、現状で曲げ破壊モードにある既存構造物の変形性能の更なる改善を目的としない。

これらの留意点についてもよく検討し、審査証明の範囲において適用する場合には、**PHb** は認められた性能を発揮することができる。

遠くない将来に発生することが予想されている大規模地震に対して、**PHb** の適切な活用が **RC** 構造物の損傷を最小に抑え、安全で安心な社会の維持発展に貢献するものと考えている。

## 参考文献

- 1) 三桶達夫，堀口賢一，大友健，加納宏一，田中良弘：既設コンクリート構造物のせん断補強工法の開発，大成建設技術センター報，第 39 号，2006.
- 2) 田中良弘，大友健，三桶達夫，堀口賢一：後施工プレート定着型せん断補強鉄筋による **RC** 地下構造物の耐震補強工法の開発，コンクリート工学，Vol45，No.3，pp.30-37，2007.
- 3) 三桶達夫，堀口賢一，岡本晋：既設コンクリート構造物のせん断補強工法の開発，電力土木，pp.62-66，2007.
- 4) 土木研究センター：後施工プレート定着型せん断補強鉄筋「**Post-Head-bar**」，建設技術審査証明報告書，2005.12.
- 5) 土木研究センター：後施工プレート定着型せん断補強鉄筋「**Post-Head-bar**」，建設技術審査証明報告書，2011.8.
- 6) 土木研究センター：プレート定着型せん断補強鉄筋，「**Head-bar**」，建設技術審査証明報告書，2004.9.
- 7) 土木学会：アルカリ骨材反応対策小委員会報告書—鉄筋破断と新たな対応—，コンクリート委員会アルカリ骨材反応対策小委員会，pp.Ⅱ-90-Ⅱ-94，2005
- 8) 福浦尚之，岡本晋，堀口賢一，三桶達夫，大友健，府川徹：後施工プレート定着型せん断補強鉄筋を用いた地中鉄筋コンクリート構造物の耐震補強，建設技術研究発表会，2010
- 9) 土木学会：コンクリート標準示方書 設計編，2007 制定
- 10) 岡本晋，三桶達夫，堀口賢一，岡本修一，中條基，府川徹：後施工プレート定着型せん断補強鉄筋による耐震補強工法の展開，既設コンクリート構造物のせん断補強工法の開発，大成建設技術センター報，第 42 号，2009.
- 11) 本谷幸康，岡本晋，福浦尚之，三桶達夫，堀口賢一，府川徹：後施工プレート定着型せん断補強鉄筋の適用範囲の拡大，大成建設技術センター報，第 43 号，2010.