

コンクリート構造物の後（あと）施工せん断補強技術

大田孝二*

1. はじめに

わが国のコンクリート構造物は1950年以降に建設されたものが多く、既に50年以上を経たものも少なくない。

この間、兵庫県南部地震（1995年発生）などの大きな地震を契機に耐震設計に関する規定は大きく見直されてきている。その結果、既往の構造物に対し、新たな設計基準による耐震補強を行う必要が生じている。

ここでは、既存のコンクリート構造物の耐震補強技術のうち、カルバートや地下貯水槽の壁など（以下、地下壁構造という）に用いられるせん断耐力補強（以下、^{あと}後施工せん断補強という）技術について述べる。

2. 耐震せん断補強の必要性和その内容

兵庫県南部地震では、高架構造の橋脚に大きな被害が発生した。特にコンクリート橋脚が脆性的にせん断破壊した被害例が多く見られた。

その結果、設計基準の見直しが行われ、従来に比し大きな地震力が規定されると同時に材料の降伏を許す設計が取入れられた。その際、図-1(a)のような脆性的な破壊が生じるせん断破壊を避けるため、靱性（粘り強さ）が確保できる図-1(b)のような曲げ破壊が先行して生じる、いわゆる曲げ破壊先行型の設計を行うことが規定された¹⁾。これは曲げ破壊においては鉄筋降伏後の伸びによる靱性が期待できることがその背景となっている。地下壁構造についても道路橋の考え方が適用されている。

さらに、1980年以前のコンクリート構造物の設計では比較的大きな許容せん断応力度が採用されていたが、その後、この値は見直され、現在は当時の半分以下の数値に変更されている。そのため、せん断補強鉄筋の設計では、この見直された許容値を用いて既存構造物を現在の基準に適合す

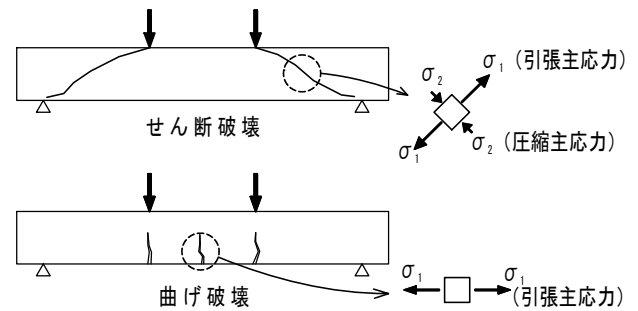


図-1 破壊の形態

るものとする必要がある。

3. 既存構造物の耐震補強の方法

3.1 既存の地下壁構造の耐震補強方法

耐震補強工法の一般的な工法である巻立て工法では、例えば橋脚補強の場合、既存橋脚に鉛直方向の主鉄筋、水平方向に帯鉄筋（中間帯鉄筋を入れる場合もある）を配置し、コンクリート巻きを行うことで曲げ耐力とせん断耐力の補強が同時にできる。この場合、巻立てたコンクリート厚の分だけ断面が大きくなる。地下壁構造では背面土圧と水圧が設計荷重であり、橋脚などに比し曲げの作用が小さいことも多く、せん断耐力のみの補強が要求される場合が一般的である。この補強方法を模式的に示すと図-2のようになる。

図-2(a)は補強しないときのせん断破壊の模式図である。(b)は増厚による既往の補強方法の模式図で内空を狭めるだけでなく、曲げ耐力も増加するため、場合によっては曲げ先行破壊とするために更なる補強が要求されることも生じる。(c)は今回の地下壁構造のせん断補強の模式図で、内空を侵さず、曲げ耐力も増加しない。(c)では内空側から削孔し、鉄筋を挿入、セメントミルク等のグラウト充填する方法が採られる。せん断補強筋は(a)の斜めひび割れの方に直角に入れるのが理論的には望ましいが、一般的には、施工上の制約もあって、(c)のように壁に直角にせん断補強筋を設けることが多い。この場合、既存の鉄筋との緩衝を避け、削孔径を小さくまた、削孔本数

を少なく抑えるために鉄筋の替りにPC鋼棒を採用した例²⁾もある。削孔は急速施工、経済性の観点からも小径化が図られている。挿入する鉄筋の先端(奥側)や手前側(施工側)には鋼板(支圧板)が取付けられ、支圧効果を利用して定着長が短くなるよう工夫されている。また、鋼板の支圧板では錆の問題から被りが必要なことから、鋼板の替りにセラミックを用いた例³⁾もある。

3.2 後補強せん断補強技術の開発目標

後施工せん断補強の開発目標は、補強された地下壁構造のせん断耐力を向上させ、その効果を定量化することである。

そのためには、挿入された鉄筋やグラウトが既存のコンクリートと一体化し、挿入鉄筋の定着長を考慮したせん断鉄筋の補強効果により、所要の地下壁構造のせん断耐力が得られることを確認しなければならない。

4. 後施工における確認試験

4.1 鉄筋の引抜き試験

挿入する鉄筋の定着特性の確認実験として、図-3に引抜き試験の例⁴⁾を示す。この例ではD16~22の鉄筋の奥側(施工する側から遠い側)にφ24~28の円形鋼板(支圧板)を取り付け、定着する長さを変え、支圧板と定着長による定着力への影響を実験的に検証している。この実験の結果では、引抜き抵抗力はD16~22の鉄筋に対しては支圧板の寸法(φ24~28)にはあまり影響を受けず、おおむね5d(dは鉄筋の径)の定着長があればせん断補強鉄筋の降伏までの強度が発揮される。

4.2 せん断補強の有効係数

後施工のせん断補強鉄筋は、通常の標準フックの鉄筋が受け持つせん断力を100%担うことはできない。すなわち、図-4の左図に示すように断面高さ(部材厚)が小さく定着長内に斜めひび割れが生じる場合は定着力が十分に取れないため補強した鉄筋にはせん断力に抗するための引張力は十分に発生しない⁵⁾。図-4の右図のように断面高さが大きくなると十分な定着長が確保されるせん断補強筋が増え、そのせん断耐力も標準フック鉄筋の場合と変わらなくなる。

標準フック鉄筋が負担できるせん断力に対する後施工のせん断補強筋が負担できるせん断力の割

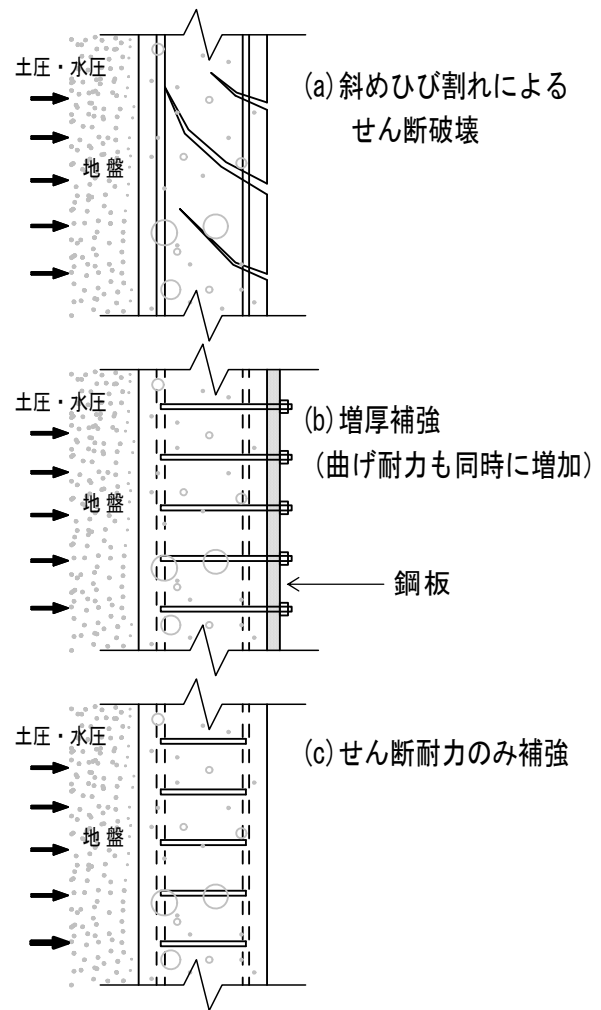


図-2 せん断補強の考え方

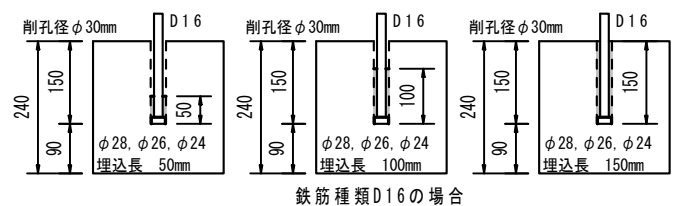


図-3 鉄筋の定着性能確認試験⁴⁾

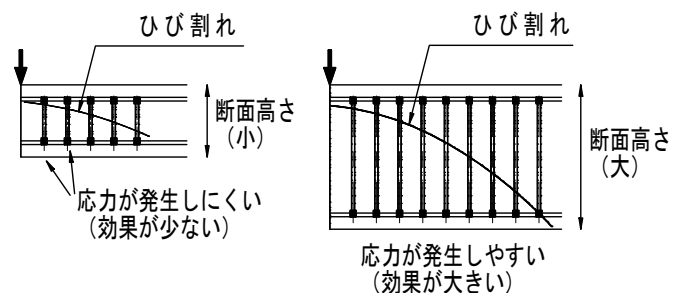


図-4 せん断補強筋と断面高さの関係²⁾

土研センター

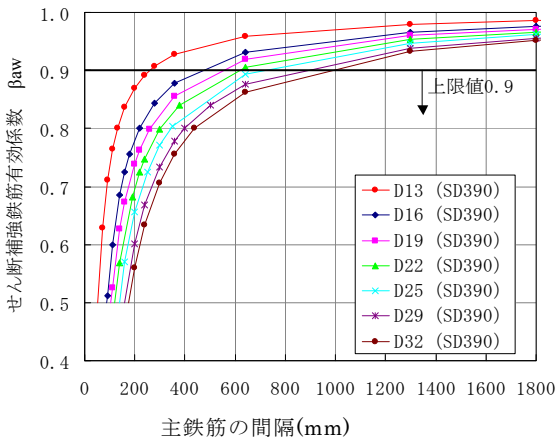


図-5 壁厚さと有効係数の関係⁴⁾

合を、有効係数（あるいは%表示して有効率）と呼んでいる。部材厚(主鉄筋の間隔)や鉄筋径を変えて計算すると有効係数は図-5のようになる。同図によれば、部材厚が小さくなるにつれ、また、鉄筋径が大きくなるにつれ、有効係数は小さくなる。有効係数は当初0.8が確保されるような部材の設計を行ってきたが、昨今は有効係数（図-5では上限値0.9を設けている）を算出して設計されている。

4.3 後施工せん断補強効果の確認試験

後施工でのせん断補強効果は、実験で確かめる必要がある。このため試験体として3体を準備して実験を行っている。すなわち、過去に建設された構造を模してせん断補強鉄筋が不足している試験体Ⅰ、その試験体Ⅰと同じ設計条件で許容せん断応力度を現在の基準に適合し、標準フックをせん断補強筋として用いた試験体Ⅱ、そして、試験体Ⅰを後施工のせん断補強筋によって補強を行った試験体Ⅲである。実験では試験体Ⅰがせん断耐力不足でせん断破壊することを確認、次に試験体Ⅱが所要のせん断耐力を有していることを確かめ、最後に、試験体Ⅲを用いて予定されたせん断耐力が確保できることを確かめている。せん断破壊していることの確認として、いずれの試験体もせん断補強鉄筋以外の曲げ鉄筋のいずれもが降伏に達していないことを確かめることになる。図-6には例として左半分に試験体Ⅱ、右半分に試験体Ⅲを示している。載荷は単純支持の梁の中央(2点)載荷で、正負の2方向載荷をしている。これは後施工せん断補強の試験体Ⅲが奥側と手前側

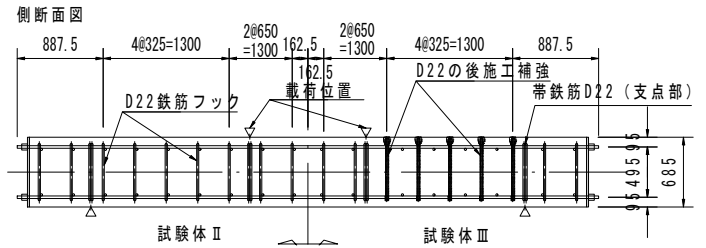
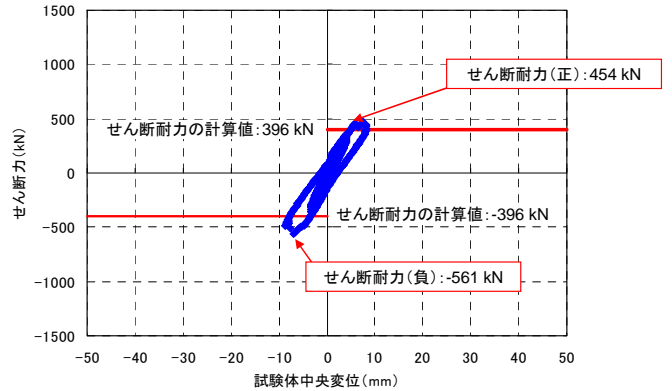
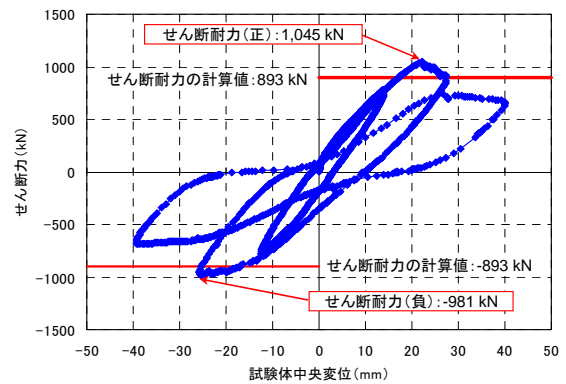


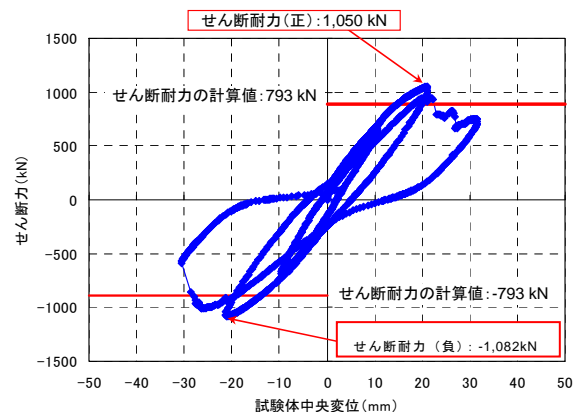
図-6 せん断補強試験体³⁾



(a) 試験体Ⅰの荷重変位曲線



(b) 試験体Ⅱの荷重変位曲線



(c) 試験体Ⅲの荷重変位曲線

図-7 せん断補強による耐力の変化³⁾

(図-6では上下)で補強筋の支圧板の大きさが違い、正載荷と負載荷では耐力が異なることが予想されたため、壁体が対称である試験体Ⅰ、Ⅱもこれに合わせて正負載荷を行っている。

この載荷試験によって、図-7のような荷重変位曲線が得られる。図-7の(a)、(b)、(c)は試験体Ⅰ、Ⅱ、Ⅲの各々の荷重変位曲線である。試験体Ⅰはせん断耐力の計算値が396kNで実験では450~560kNで破壊し、曲げ耐力より先にせん断耐力不足で破壊した。試験体Ⅱのせん断耐力の計算値は893kNに増えている。試験体Ⅰ、Ⅱは、大まかには耐震設計基準の変更と許容せん断応力度の見直しによるせん断耐力の差と見ることができる。耐震設計上のせん断耐力が試験体Ⅰの設計耐力の倍以上に補強されていることが分かる。

この実験の試験体Ⅱ、Ⅲを比較すると、せん断耐力の計算値は試験体Ⅱの893kNに比べ、試験体Ⅲは793kNになっている。試験体Ⅲは試験体Ⅱに有効係数を乗じたため少し小さく計算されている。しかし、実験結果では試験体Ⅲのせん断耐力1050、1082kNは試験体Ⅱのせん断耐力1045、981kNのいずれをも上回っている。有効係数を用いて算出される設計せん断耐力以上であることはもちろん、標準フック筋での補強に比べ、そんな色のないせん断補強効果が得られていることを示している。

5. まとめ

後施工せん断補強の技術開発によって、現行の耐震基準を満たさない地下壁構造に対して、内空を侵すことなく、また、片側からの施工で十分な補強ができることが分かった。

兵庫県南部地震の被害から耐震設計が大きく見直されたこともあり、昨今のコンクリート構造物の配筋は、太径の鉄筋が密集し、標準フック鉄筋を用いた定着構造は現場での配筋作業を著しく困難なものにしている。このためフック鉄筋に替わる機械式定着工法が数多く開発され、新設コンクリート構造物の現場施工の迅速化、経済化に寄与している。本報文で紹介した後施工せん断補強(工法)は、それぞれ特徴を持つ工法であり、既

存コンクリート構造物の耐震性の向上に大いに貢献できると期待している。今後もこのようなコンクリート構造物の耐震性能の向上に資する技術の更なる開発を期待したい。

6. 謝辞

本原稿をまとめるに当たっては、当センターで実施した後施工せん断補強鉄筋「Post-Head-bar」、「セラミックキャップバー (CCb)」、「マルチプルナットバー」に関する審査証明を参考にさせていただき、依頼者である皆さんに多大なお手数をおかけしました。ここに報告し、感謝の意を表します。

また、図表などを引用する際に多少の加筆修正を行いました。ここに記してお詫び致します。

参考文献

- 1) 道路橋示方書、同解説Ⅴ耐震設計編(平成8年12月)、日本道路協会
- 2) 建設技術審査証明報告書「マルチプルナットバー」、土木研究センター、平成22年9月
- 3) 建設技術審査証明報告書「セラミックキャップバー (CCb)」、土木研究センター、平成21年2月
- 4) 建設技術審査証明報告書「Post-Head-bar」、土木研究センター、平成17年12月及び平成23年8月
- 5) 土木学会、コンクリートライブラリ、124、アルカリ骨材反応対策小委員会報告書、土木学会、平成17年8月

大田孝二*



一般財団法人土木研究センター
企画・審査部長兼コンクリート
研究室長、工博
Dr.Koji OHTA