

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 29 日現在

機関番号：92503

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23760542

研究課題名(和文) 耐震補強の促進に寄与する高耐力・高剛性接合部材の開発とその力学的機構の解明

研究課題名(英文) Development of high performance joint element for seismic retrofitting and construction of mechanical model for joint elements

研究代表者

高瀬 裕也 (TAKASE, YUYA)

飛鳥建設株式会社技術研究所・・・副主任研究員

研究者番号：30515911

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円、(間接経費) 1,050,000円

研究成果の概要(和文)：近年、耐震性能の低い既存建築物の耐震補強が重要視されている。本研究の目的は、既存建築物の耐震補強に寄与するため、高機能な接合材を開発し、この破壊メカニズムを解明することである。

本研究では、申請者が過去に提案した、円柱形状の埋め込み型ディスクとアンカーボルトを併用した耐震補強用の接合材を応用し、より性能の高い接合材を開発した。提案接合材を用いた実験の結果、接着系アンカーよりも3倍から4倍の高い耐力を発揮し、さらに高い剛性を持つことを明らかにした。加えて、実験結果から破壊メカニズムを推定し、実験値を的確に評価可能な耐力式および力学モデルを構築した。

研究成果の概要(英文)：Recently, seismic retrofitting has become increasingly important for seismically weak structures. This study aims to develop a new joint element which can be used in various structures and to construct of a shear strength formula as well as a mechanical model of the proposed joint element.

In this study, I developed new joint element which is consisted of a steel disk and an anchor bolt. The shear tests were conducted using the proposed joint element. As a result of tests, the proposed joint element has higher shear strength and higher shear stiffness than post-installed anchors which are used in usual seismic retrofitting. In addition, I constructed the shear strength formula and the mechanical model based on the failure mode of the tests.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築構造・材料

キーワード：あと施工アンカー 複合応力 目荒らし 耐震補強 外付け補強 シヤキー

1. 研究開始当初の背景

周知のように、1995年の阪神淡路大震災において、所謂、旧耐震建築物が大きな被害を受けた。この惨憺たる地震被害を経験し、その後、急速に耐震性能の低い建築物への耐震補強が重要視されるようになった。

既存建物を耐震補強するには、耐震要素として付加される構造部材（以下、補強部材と呼ぶ）が、既存躯体に剛に接合される必要がある。

しかしながら近年の耐震補強では、補強部材自体の性能が向上している上、さらに対象となる既存建築物も、コンクリート強度が低いものや、鉄骨鉄筋コンクリート構造のように、埋め込み深さに制約があり、有効埋め込み深さを確保できないなど、接合部の設計が難しいために、耐震補強自体の適用が困難となるケースが多く生じている。

以上の背景から、効率よく施工でき、さらに高い耐力と剛性を持つ接合材が開発されれば、耐震補強の促進に大いに寄与できるものと考えられる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、既存技術では耐震補強が困難な建築物にも、幅広く耐震補強を適用できる、高機能な接合材を開発することである。様々な建築物にも広く適用するためには、下記の5つの特質を有する接合材が望まれるようである。即ち、せん断耐力が高い、剛性が高い、設置場所に対する制約が少ない（へりあき、アンカーボルトの埋め込み深さ等）、複雑な応力（せん断と引張）に抵抗できる、設計法が簡便である。

また、新たな接合材を開発すると共に、提案接合材の支圧応力場を解明し、精度の高い力学モデル並びにせん断耐力式を構築する。

3. 研究の方法

(1) 既存技術の評価

一般的な耐震補強では、接着系アンカーを用いて、補強部材が既存架構に接合される。本研究では、まずは、既存技術の性能を評価するべく、既往の文献より接着系あと施工アンカーのせん断実験の結果を整理し、それらに基づいて、接着系アンカーのダウエルモデルを構築する。また、このダウエルモデルは、提案接合材の力学モデルを開発する際にも、基礎資料として使用される。

(2) 新たな接合材の開発

申請者の既往研究成果を参考として、一般的な接着系アンカーに代わる接合材を開発する。ここでは、円柱形状のディスクを既存躯体に埋め込むことで、コンクリートに広い支圧面積を確保することで、高いせん断耐力を発揮できる応力伝達機構を持つ接合材を開発する。

(3) 提案接合材のせん断実験の実施

提案接合材を用いた接合部試験体のせん断実験を行う。図1に本実験の概念図を示しているが、本実験では、実際の接合部に作用する応力場を再現し載荷する。また、実験結果と接着系アンカーのせん断耐力を比較し、提案技術の性能の高さについて検証する。

(4) 提案接合材の破壊メカニズムの解明および耐力評価

上記(3)の項目で実施した、実験結果からこの破壊メカニズムを推定するとともに、実際の設計で用いることができるよう、せん断耐力式および力学モデルを構築する。

4. 研究成果

(1) 本研究では、接着系アンカーの力学挙動を再現するため、以下の仮定の下に、ダウエルモデルを構築した。即ち、接着系アンカーが負担するせん断力は、次の3つの抵抗成分の和と釣り合う。

- 塑性ヒンジにおけるアンカー筋の曲げによるせん断抵抗
- コンクリートの支圧抵抗
- アンカー筋の伸びによる引張抵抗（引張抵抗の内、せん断成分を評価）

図2に上記の抵抗成分のイメージを記す。本提案モデルでは、これら個々の抵抗要素の力学モデルを構築し、それらを累加することで実験値を再現できるか検証した。

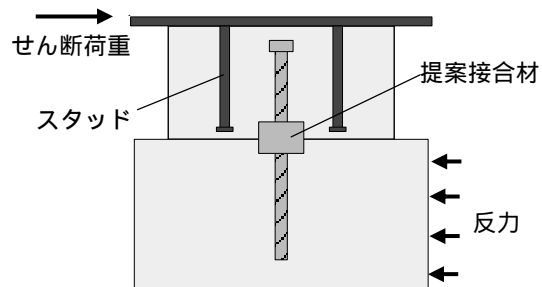


図1 本実験の概念図

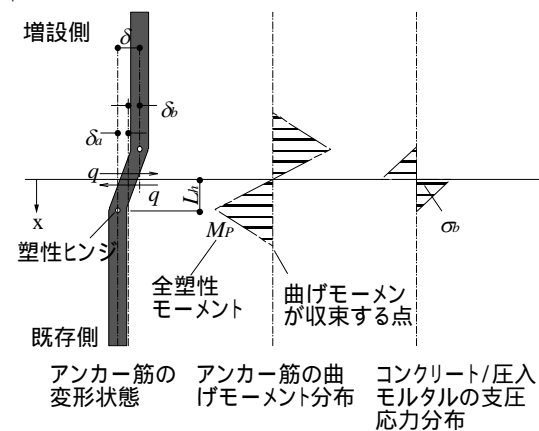


図2 ダウエル機構のモデル化

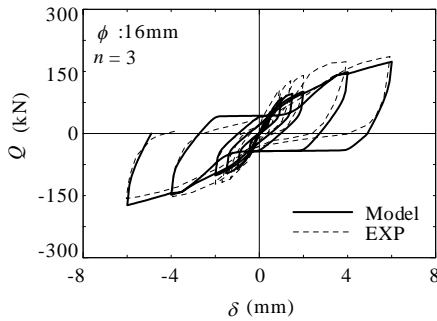


図3 提案ダウエルモデルと実験値の比較結果の一例

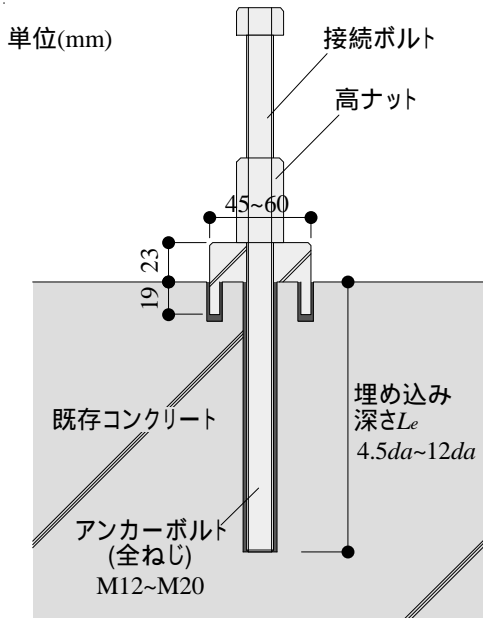


図4 提案接合材の諸元寸法

図3に既往の実験結果と、提案ダウエルモデルを比較した結果の一例を示す。同図より、提案モデルにより、良好に実験結果を再現できることが理解できる。

(2)図4に本研究で開発した接合材の諸元寸法を示す。申請者の既往の研究では、内付け補強に適用することを目的としていたことから、せん断力のみ抵抗できる接合材を開発していた。そのため、アンカーボルトの有効埋め込み深さを、施工上、最小限で済むように $4.5d_a$ としていた。

しかしながら本研究では、外付け補強にも用いることができるよう、アンカーボルトの埋め込みを長くした。さらに、既往のタイプでは拡張型のアンカーボルトを用いたが、拡張用の芯棒による断面欠損によって引張抵抗性能が低下することを防ぐため、全ねじボルトを用いることとした。また、ディスクの外径寸法も、既往の90mmから60mmに小さくすることで、設置箇所の制約が少なくなるように配慮した。

(3)図5に本実験の荷重変形曲線の一例を示す。同図を見ると理解できるように、本提案

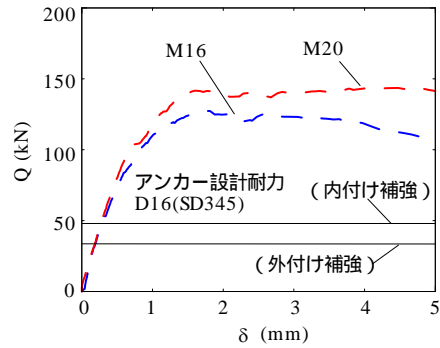


図5 本実験の荷重変形曲線の一例

接合材の荷重変位曲線は、せん断変位が1mmを超える辺りで最大耐力となり、その後、荷重を維持しながら変形が進む様子が観察された。一般的な接着系アンカーの荷重変形曲線は、せん断変位が5mm以上にならないと、最大荷重に達しないと報告されている研究例もあることから、本提案接合材は、小さな変形量で最大耐力を発揮する、換言すれば高い剛性を持つ接合材であると言える。また、図5には一般に使用される、D16の接着系あと施工アンカーの設計耐力も併記しているが、本実験結果は、内付け補強の設計耐力に対し3倍近い最大耐力を、外付け補強の設計耐力に対しては、4倍近い最大耐力を示している。したがって、本接合材は剛性の高さに加え、高い耐力を併せ持っていることから、耐震補強の接合材として、極めて有用であると判断される。

(4)図6に、破壊状況から推定した応力伝達メカニズムを模式的に示す。実験終了後の破壊状況を観察した結果、ディスク周囲のコンクリートが圧壊(支圧破壊)している様子が確認された。したがって、本提案部材の破壊メカニズムは、ディスク側面のコンクリートの支圧破壊によって、最大耐力が決まったものと考えられる。

続いて実設計で用いるために、耐力評価を行った。上述した本実験の破壊状況は、既往の研究で用いた接合材と同様の破壊形式であったことから、過去に提案した設計式を用いて、本実験の結果を評価することとした。ただし、アンカーボルトの径が変わったことから、アンカーボルトの径による補正係数を加えた。

ここで用いる耐力式を、以下に示す。

$$Q_d = 0.146 \cdot K \cdot A_B \sqrt{E_C \cdot \sigma_B} \quad (1)$$

$$K = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \quad (2)$$

ここに、 A_B は支圧応力を受ける受圧面積、 E_C と σ_B は、それぞれコンクリートのヤング係数と圧縮強度である。また K_1 から K_4 は、それぞれへりあき、アンカーボルトの有効埋め込み深さ、コンクリートの種類、およびアンカーボルトの径による補正係数である。

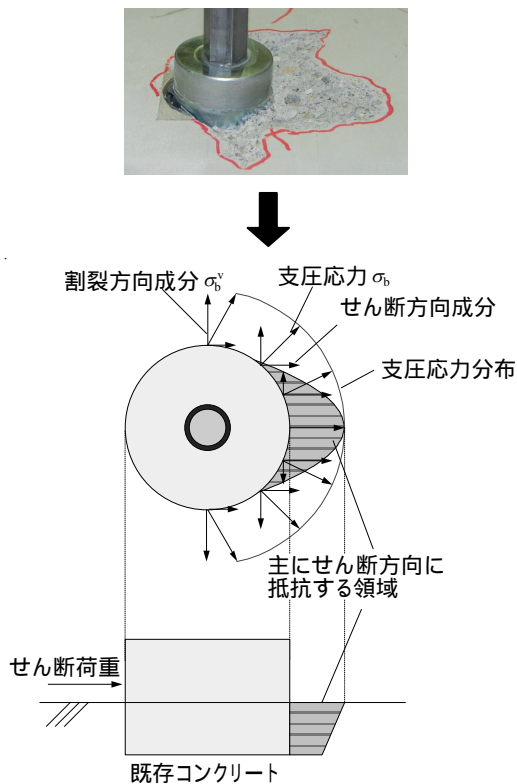


図6 応力伝達メカニズム

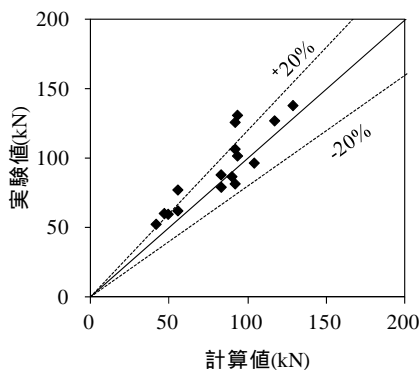


図7 実験値と計算値の比較結果

図7に実験値と計算値の比較結果を示す。同図を見ると理解できるよう、接合材の形状に改良を加えたが、既往の耐力式をベースとした本提案式を用いることで、良好にせん断耐力を評価できることが分かった。

また一般的なあと施工アンカーに、せん断力と引張力を負担させる場合、複合応力の問題が生じるが、本接合材は、ディスクによってせん断力を負担し、アンカーボルトによって引張力を負担するため、設計の際もそれぞれ独立に評価すれば良く、簡便な設計法を実現した。

さらに、図8に実験値と提案モデルの比較結果を示す。この提案モデルは、(1)で述べた接着系アンカーのダウエルモデルを改良したものである。具体的には、コンクリート

の支圧抵抗を本接合材用に改良を加えた。図8より、本提案モデルを用いることで、良好に実験結果を再現できることが分かる。

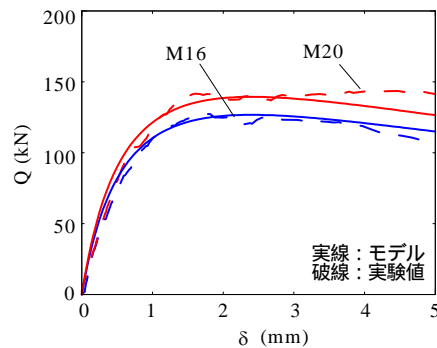


図8 実験値と提案モデルの比較の一例

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 3件)

- 1)高瀬裕也, 和田俊良, 篠原保二: 増設側圧入モルタルの強度が接着系あと施工アンカーのせん断耐力に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文集, 査読有, Vol.34, No.2, pp.967-972, 2012年
- 2)高瀬裕也, 和田俊良, 池田隆明, 篠原保二: 繰り返しせん断力を受ける接着系あと施工アンカーの力学モデル, 日本建築学会構造系論文集, 査読有, Vol.77, No.682, pp.1915-1924, 2012年12月
- 3)高瀬裕也, 和田俊良, 香取慶一, 篠原保二: あと施工アンカーと目荒らしを用いた接合部の力学挙動評価のための基礎検証, コンクリート工学年次論文集, 査読有, Vol.35, No.2, pp.1069-1074, 2013年

〔学会発表〕(計 3件)

- 1)Takase, Y., et al.: Development of Shear-key Consisted of Steel Disk and Anchor Bolt for Seismic Retrofitting, 15th World conference on earthquake engineering, No.1774, 2012.9
- 2)Takase, Y., Wada, T., Ikeda, T. and Shinohara Y. : Mechanical model of adhesive post-installed anchor subjected to cyclic shear force, Proceedings of fracture mechanism of concrete and concrete structures, Abstract 査読有, P455 on DVD-ROM, 2013.3
- 2)Takase, Y., Ikeda, T., Abe, T., Wada, T., Katori, K. and Shinohara Y. : Discussion on mechanical behavior of joints using post-installed anchor and concrete surface roughening for seismic retrofitting, Proceedings of EURO-C 2014, Abstract 査読有, pp.837-846, 2014.3

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕
出願状況（計 0 件）

〔その他〕
ホームページ等
特になし

6．研究組織

(1)研究代表者

高瀬 裕也（TAKASE YUYA）
飛島建設 技術研究所・副主任研究員
研究者番号：30515911

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし