

外側耐震補強構法『KG 構法』の新たな展開

完全外部施工方法の開発

牧田 敏郎・大谷 昌史・田畑 卓

既存建物の耐震補強構法において、補強工事中も建物を使用可能とするためには、補強部材を建物の外部に取付ける外側耐震補強構法が有効である。そこで、既存建物外周部の柱梁接合部にピン接合により外付け鉄骨フレームを取り付ける耐震補強構法『Key Grid 構法 (KG 構法)』(以下「本構法」という)を2008年に開発した。それ以降、様々な建物に適用可能な補強工法とするため、順次、適用範囲を広げていき、完全外部施工方式を可能とする接合法を開発した。本報では、構法の概要と構法の確立のために行った構造性能検証実験を紹介する。

キーワード：外側耐震補強、完全外付け、制震部材、増設梁、圧着接合

1. はじめに

既存建物の耐震補強構法において、補強工事中も建物を使用できるように外部に鉄骨フレームを取り付ける本構法を開発し、2008年8月に財団法人ベターリビングの一般評定を取得し、学校施設等の建物に採用してきた。

本構法では補強鉄骨フレームの取り付け方式として、バルコニーがない建物を対象とした「直付け方式」とバルコニー付き建物を対象とした「増設梁方式」がある。

今回は、後者の増設梁方式を対象として、室内に立ち入る必要が無い完全外部施工方式を可能とする接合法を開発し、2016年10月に一般評定(再評定)を取得した。

2. 本構法の概要

(1) 構法概要

本構法は、既存建物の柱梁接合部にピン装置「KGピン」を取り付け、既存躯体の外側にKGピンを介して鉄骨造の補強フレーム「KGフレーム」を取り付けて補強する耐震補強構法である。

本構法の概念図を図一1に示す。本構法は、外付けフレームによる補強構法の一つであるが、躯体との取り付け部をピン接合としたことにより力学的に明らかな応力伝達構造を成立させる特長がある。ピンは鋼製とし、地震力によって生じる既存躯体のせん断力のみを外付けフレームに伝達する。ピンによって相互に接



図一1 本構法の概念図



図一2 各部の名称

続するため、外付けフレームから躯体への付加的な曲げモーメントの作用を排除することができる。KGフレームは負担せん断力に応じてフレームの柱中間に

KG デバイス（制震部材）を設置する。図一2に各部の名称を表した図を示す。

(2) 特徴

本構法の特徴を以下に記す。

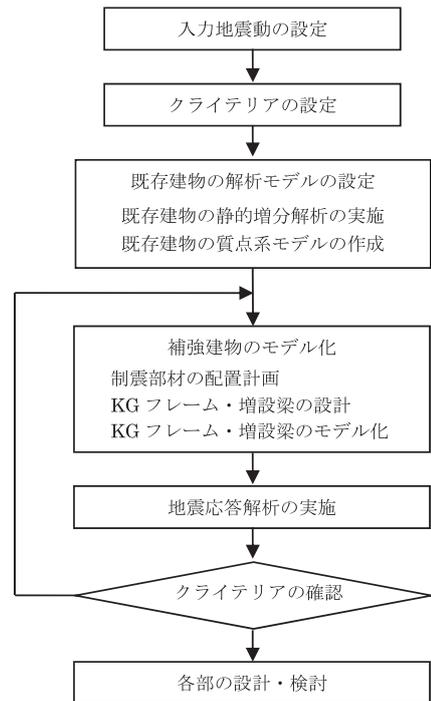
- ①既存躯体の加工箇所が限定的であるため、施工時の騒音・振動の発生が少ない
- ②ほとんどが外部作業であるため、建物を使いながら補強できる
- ③補強部材が鉄骨を主体とした乾式の補強構法であるため、工期が短い
- ④補強部材はブレース材に頼らないため、窓などの開口部を塞ぐことなくシンプルなデザインにすることができる
- ⑤建物特性に応じた制震部材を選択できるため、既存建物に最適で優れた補強効果を得ることができる
- ⑥バルコニータイプの建物にも対応（既存建物が最外構面に跳ね出しスラブを有しており、梁柱接合部に KG ピンを取り付けられない場合には、跳ね出しスラブ下部にプレストレストコンクリート造の増設梁を新設し、その先端に KG ピンを設置する）

本構法を適用した直付け方式と増設梁方式の耐震補強工事例を図一3に示す。

(3) 設計法の概要

本構法の設計は、補強部材として制震部材を採用しているため、原則動的補強設計法による。ただし、通常の耐震診断に基づく静的補強設計法も設計法のメニューに揃えている。以下に動的補強設計法の概要を示す（図一4）。

既存建物の静的増分解析結果から、振動解析モデル（質点系モデル）を作成する。必要な構造性能を満足する KG フレームと増設梁の剛性・耐力等を考慮して補強部材のモデル化を行い、補強後建物の振動解析モデルを作成する。

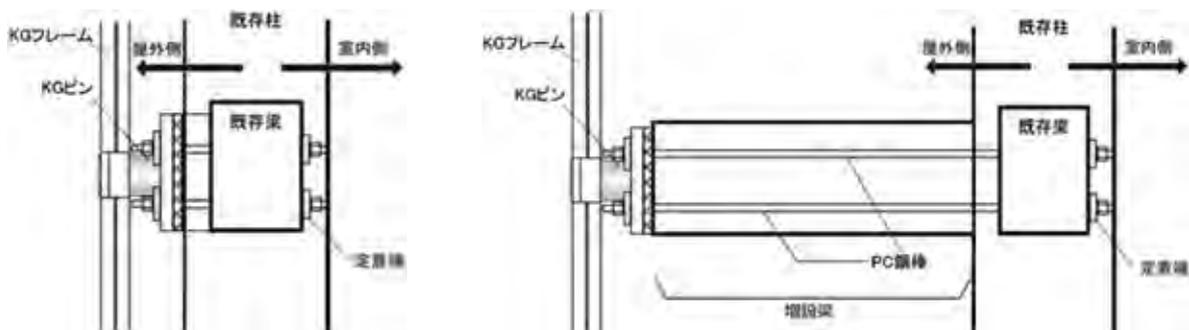


図一4 補強設計のフロー

質点系モデルでの地震応答解析結果で、一部の地震波や階でクライテリアを満足していない場合などは、より詳細なモデルである立体モデルによる検討を行う場合もある。

地震応答解析の結果がクライテリアを満足することを確認した後、KG ピン・KG ベース等各部の設計を行う。設計用入力地震動は、「極めて稀に発生する地震動」に対応するレベル2の地震動を想定して設定する。

静的増分解析結果により、目標変形角までに脆性破壊が生じる場合には別途韌性補強を計画し、耐震性能目標を確保する。また、既往の耐震補強構法との比較のために、耐震性能目標に加えて換算 Is 値を用いて評価することも可能である。



図一3 本構法の側面概要図（左：直付け方式、右：増設梁方式）

3. 完全外部施工方法の追加

(1) 施工法の概要

従来の増設梁方式では既存躯体まで貫通させたPC鋼棒により、既存建物と増設梁、KGピンを圧着接合としていたために、定着端の施工が室内作業となっていた。今回の追加・変更では、既存建物と増設梁の接合をあと施工アンカー、増設梁とKGピンの接合をPC鋼棒による圧着接合とすることにより、室内に立ち入ることなく、外部のみで施工を行うことができるようになった（図—5、6）。

(2) 設計法

本構法では、増設梁を含むKGフレーム取付け部のモデル化が制震デバイスの効果に影響を及ぼす。完全外部施工方法の場合、増設梁の設計は以下の方針で進める。

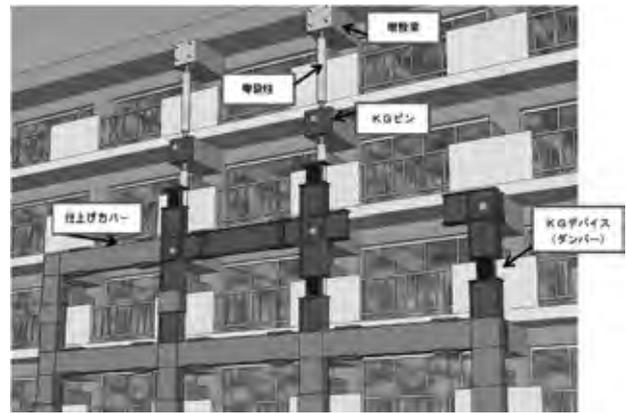
- ①作用荷重の水平方向成分に対しては、増設梁と既存跳ね出しスラブを一体化することで、既存躯体に伝達する。
- ②作用荷重の鉛直方向成分に対しては、増設梁の曲げせん断抵抗と増設柱の軸力伝達を考える。
- ③増設梁の設計はRC規準等に従い、作用荷重に対して、短期許容せん断耐力以下、かつ主筋の降伏を生じさせないこととする。
- ④増設柱は十分な軸剛性を持つ部材断面とし、両端ピン接合とする。
- ⑤動的補強設計におけるモデル化ではひび割れ等による非線形性を考慮する。

(3) 性能確認試験

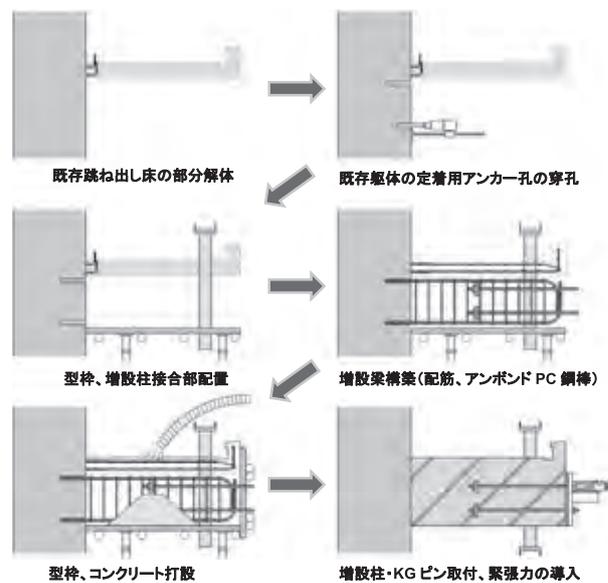
完全外部施工方法では、既存躯体に削孔した孔内に増設梁主筋を定着する。そこで、増設梁主筋の定着性能確認のための定着鉄筋引抜き実験と、既存躯体の損傷による増設梁の耐力・剛性への影響を確認するための立体架構実験を実施した。

(a) 定着鉄筋引抜き実験

本構法にて想定している増設梁主筋の定着方法には、予め削孔した孔内に定着金物を取り付けた鉄筋を挿入して孔内にグラウトを充填する方式と、孔内にエポキシ樹脂を充填し定着鉄筋を直線定着とする方式の2通りがある。いずれの場合も鉄筋に生じた引張り応力が孔の界面を介して既存躯体に伝達される必要があるため、孔界面が定着鉄筋の剛性・耐力に及ぼす影響を把握する目的で、定着鉄筋の引き抜き実験を実施した。主な実験因子はコンクリート強度、孔内の粗面化、



図—5 完全外部施工方式の概要図



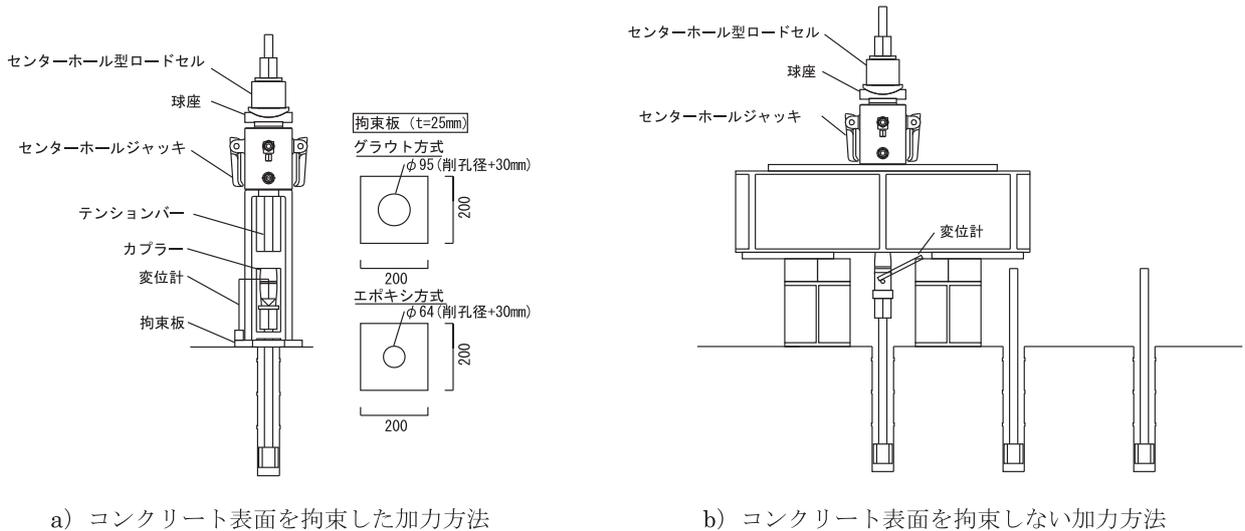
図—6 完全外部施工方式の施工手順

定着長さ、加力時におけるコンクリート表面の拘束の有無（図—7参照）である。

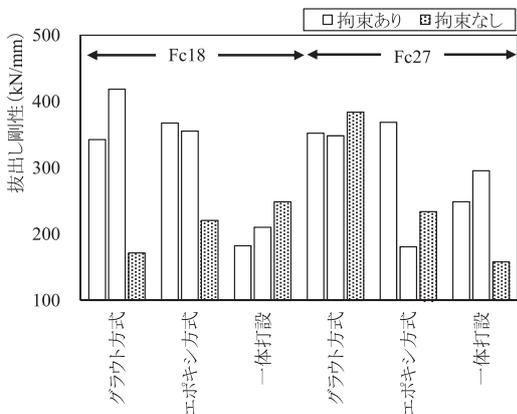
本実験により得られた各定着鉄筋の抜け出し剛性の比較を図—8に示す。グラウト方式、エポキシ方式のいずれも、孔を設けず定着鉄筋をコンクリート内に一体打設した場合と同程度の抜け出し剛性を有することが確認された。また、図—9は定着耐力の実験値と計算値の対応である。実験結果より、孔内を粗面化しない場合においても粗面化を行った場合と同等の付着強度となることを確認した。また、グラウトを用いる場合とエポキシを用いる場合の孔の界面における付着強度を安全側に評価する式を定めた。

(b) 立体架構実験

増設梁主筋は柱梁接合部近傍に定着される。前掲の引き抜き実験では、定着鉄筋が健全なコンクリートに定着された条件となっているが、実際には既存躯体の損傷によって定着部が影響を受けることが想定される。そこで、既存躯体と増設梁を模した試験体に対し



図一七 定着鉄筋引き抜き実験



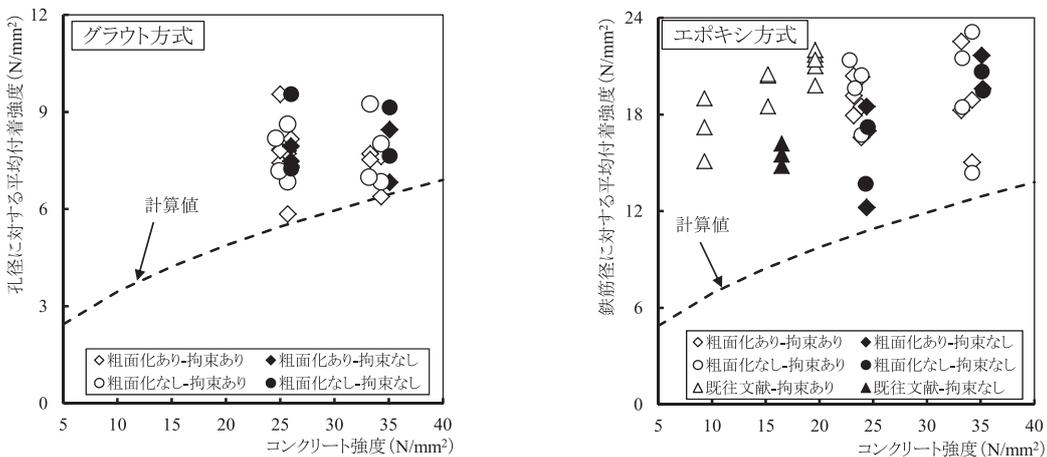
図一八 定着鉄筋の抜け出し剛性の比較

て加力を行い、その定着性能および増設梁の変形性能を検証した。

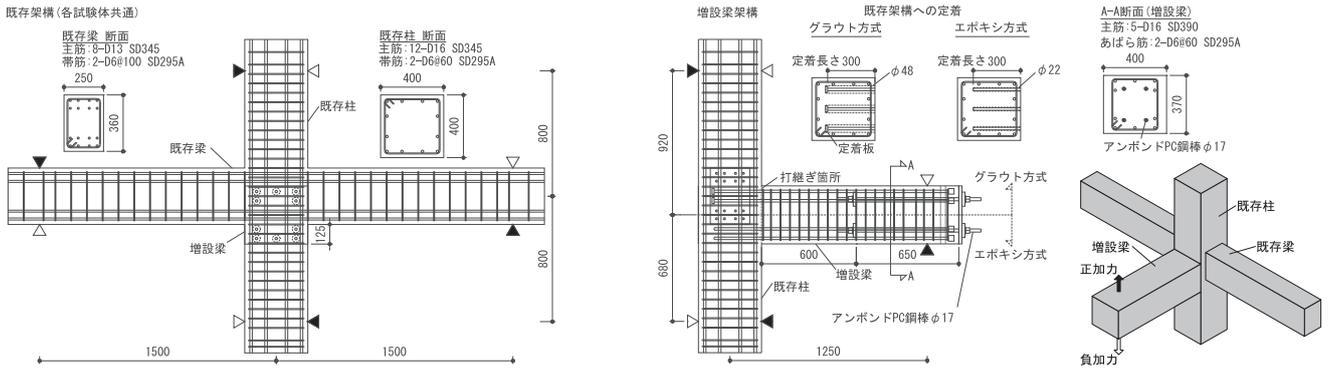
試験体を図一10に示す、既存躯体を模した十字形架構とその直交方向に増設梁から構成される立体架構とし、増設梁の定着方式としてグラウト方式とエポキシ方式を採用した2体を計画した。加力にあたって

は、既存架構の加力により柱梁接合部のせん断応力レベル、すなわち損傷レベルを段階的に増大させ、それぞれのレベルに対して増設梁を加力する方法とした。柱梁接合部のせん断応力度 τ レベルは、コンクリート圧縮強度 σ_B に対する比 (τ/σ_B) で0(無損傷), 0.15, 0.20, 0.23の4段階とし、増設梁は曲げ降伏耐力の0.85倍まで加力した。

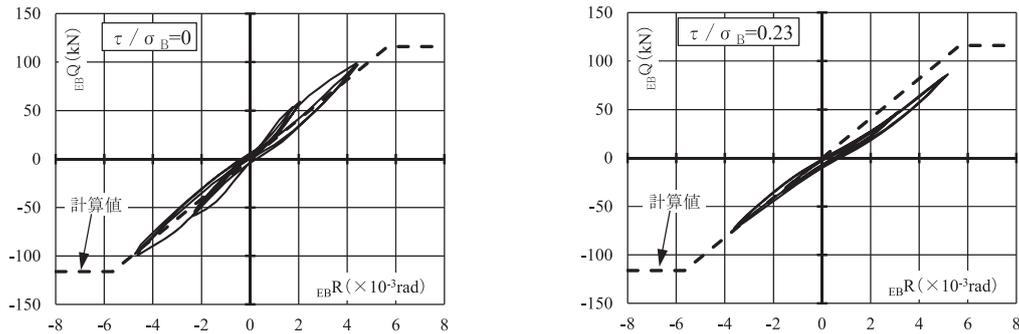
図一11にエポキシ方式の増設梁の荷重-変形関係を例示する。グラウト方式、エポキシ方式ともに荷重-変形関係はせん断応力度レベルが $0.23 \tau/\sigma_B$ に至るまで線形を保持していたが、その剛性は図に示すようにせん断応力度レベルの増大に伴って徐々に低下する性状を示した。そこで、完全外部方式の適用にあたっては既存躯体の柱梁接合部のせん断応力度が $0.23 \tau/\sigma_B$ 以下であることを条件とし、また、増設梁の剛性の評価において図一12の結果を反映した低減を考慮するものとした。



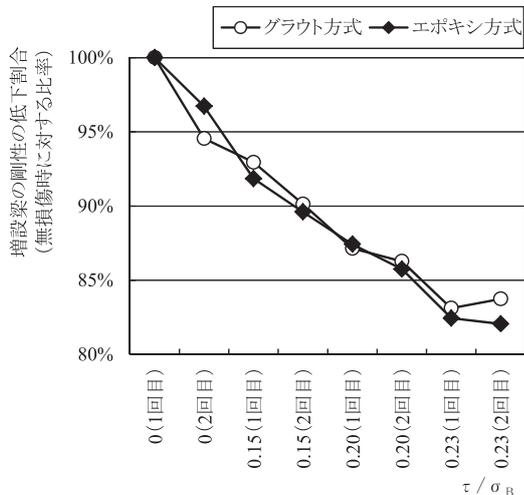
図一九 定着耐力の実験値と計算値の対応



図一 10 立体架構造試験体



図一 11 増設梁の荷重—変形関係 (エポキシ方式)



図一 12 増設梁の剛性低下率

4. おわりに

新耐震設計法施行以前に建築された建物に対して、大地震への対策として耐震補強が求められているが、マンション等は、耐震化率がまだまだ十分ではない。補強が進まない要因のひとつとして、室内に入らずに補強が可能で採光や視界を妨げない補強工法が十分でないことが挙げられる。

本構法 KG 構法が、このような社会的要求に対し 1 つの答えになるものと考えており、重要な社会資本である学校や住宅等のストック建築物の耐震補強促進に今後とも貢献していきたいと考えている。

謝 辞

KG 構法は安藤ハザマ・西武建設他 1 社による共同研究による。開発に係った関係各位にこの場を借りて謝意を表します。

JCM A

《参考文献》

- 1) 野中康友, 本多徹哉, 藤本利昭, 原博, 板尾浩, 川崎栄治: ピン接合形式による外付け制震補強構法の開発 (その 1) 構法概要と試設計, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2008
- 2) 古谷祐希, 田畑卓, 牧田敏郎, 樋渡健, 山岸直樹, 藤本利昭: ピン接合形式による外付け制震補強構法の開発 (その 9) 立体架構実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.671 ~ 672 2015 年 9 月

【筆者紹介】

牧田 敏郎 (まきた としろう)
 (株)安藤・間
 建築事業本部構造技術部

大谷 昌史 (おおたに まさふみ)
 (株)安藤・間
 建築事業本部構造技術部

田畑 卓 (たばた たく)
 (株)安藤・間
 技術本部技術研究所