

3

鋼板圧入による耐震補強工法の開発

中村 征史*1・千々岩 三夫*2・鈴木 唯夫*1

概 要

RC 柱などで、地中に埋設されている部分を非開削で耐震補強することを目的として、耐震補強鋼板を油圧ジャッキなどで圧入する工法を提案し、その施工方法と施工性についての確認を行った。性能確認試験では、□-1.0m×1.0m、高さ 6.0m の模擬柱を 3.0m 地中に埋設し、地上部で模擬柱周囲にセットした耐震補強鋼板を油圧ジャッキとウォータージェット、振動体の併用で圧入した時の施工状況を確認した。また、鋼板圧入後の柱との間隙へのグラウト充填は鋼板の外部への流出を防止するために袋状のチューブを使用した限定注入とし、その有効性も検証した。

キーワード：耐震補強，油圧ジャッキ，深礎工法，開削工法

Development of a seismic retrofit technique with pressed-in steel plates

Seishi NAKAMURA*1 Mitsuo CHIDIWA*2 Tadao SUZUKI*1

Abstract

In order to perform a seismic retrofit of underground sections of reinforced concrete columns without open cutting, we proposed a technique that presses in steel plates with a hydraulic jack, and validated the work method and efficiency. In the performance validation, a simulation column with a section of 1.0 m square, 6.0 m high, was installed at a depth of 3.0 m underground, and a steel plate set around the column part above ground was pressed in with a hydraulic jack, water jet and vibrator, to verify the driving state. Into the interstice between the steel plate driven in this way and the column, grout was injected with a tube with one closed end to prevent the grout from flowing out of the steel plate. We also verified the efficiency of this grouting practice.

Keywords: seismic retrofit, hydraulic jack, pier foundation, cut-and-cover method

*1 Construction Technology Group, Engineering Technology Center, Engineering Division

*2 Manager, Construction Technology Group, Engineering Technology Center, Engineering Division

鋼板圧入による耐震補強工法の開発

中村 征史*1・千々岩 三夫*2・鈴木 唯夫*1

1. はじめに

近年、阪神大震災をはじめとする大規模な地震災害の発生により、既設構造物の耐震補強工事への関心が高まり、社会基盤である主要構造物の耐震補強対策は急ピッチで進められている。

高架橋やビルなどの既設構造物の耐震補強工事は、地表に出ている部分だけではなく、地中部も行わなければならない。地中部の耐震補強工事は、深礎工法などの開削工により露出させて補強するのが一般的である。しかし、駅コンコースやビルなどの営業エリア内での施工は営業時間外に限定されるため、掘削部の養生など本工事に付随する工種の影響が大きく、工期が長くなり、それに伴ってコストも高くなる。したがって、開削を行わずに地中部の耐震補強工事を行う工法の開発が望まれている。

そこで、非開削で地中部の耐震補強工事の施工が可能な、鋼板圧入による耐震補強工法を開発し、その有効性を確認した。

2. 工法概要

本工法では開削せずに地中部に耐震補強鋼板(以下、鋼板)を設置できるように、油圧ジャッキを用いて地上から鋼板を所定の位置まで地中に圧入する。油圧ジャッキの反力は、柱に溝形鋼を緊結するなどして確保する。

地中に圧入する際の補助として、鋼板の下端部に設置した高圧水の噴射口から高圧水を噴射して地山を攪拌させると同時に、上端部に設置された振動体によって、鋼板を揺動させ、圧入が円滑に行える装置にした。

圧入完了後、鋼板と柱との間隙へのグラウト充填は、高圧水によって鋼板周辺の地山が乱れ

ているため、グラウトが地中に漏れることが予想された。そこで、柱と鋼板との間隙に袋状のチューブを挿入して袋内にグラウトを充填するようにした。

3. 1回目施工試験

写真-1に1回目の試験状況写真を示す。

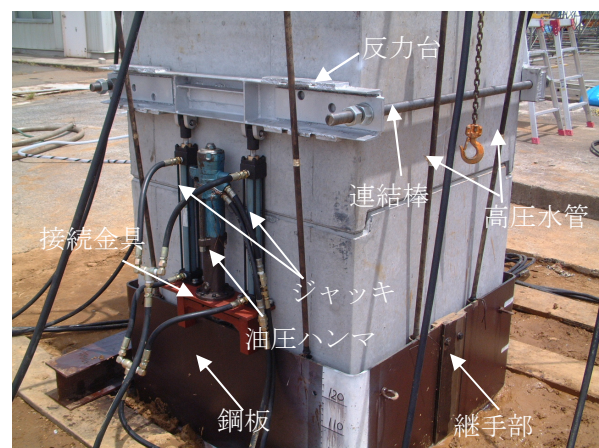


写真-1 1回目試験状況

鋼板はコの字型のものを2枚使用し、圧入前に地上で噛み合わせ継手により連結し、矩形にする。鋼板の相対する2面の中央部に、それぞれ油圧ジャッキ(14Mpa-10kN)2台と油圧ハンマ(打撃数1,700bpm)1台を装備した接続金具を取付ける。油圧ジャッキの反力は反力台(溝形鋼C-125)2本を連結棒(PC鋼棒)で緊結し、摩擦力で確保した。

圧入の補助として油圧ハンマによる鋼板の揺動のほかに、鋼板の内側に高圧水管を各面に2本ずつの計8本を挿入し、高圧水を鋼板の下端部で下向きに噴射させて、地山を攪拌する。

圧入手順は、油圧ハンマの打撃と高圧水の噴

*1 エンジニアリング本部 技術センター 施工技術グループ

*2 エンジニアリング本部 技術センター 施工技術グループGL

射を行いながらジャッキを伸ばし、ジャッキがフルストロークになったら、P C鋼棒を緩めて反力台を下に降ろし、再度、反力台を締付けて、ジャッキを伸ばして圧入する一連の作業を繰り返した。なお、鋼板が全て地中に入った場合、別の鋼板を上へ接続して、さらに圧入することも可能である。

4. 1 回目施工試験の問題点と対策

4. 1 スペーサの抵抗

1 回目の試験では既設柱と鋼板の間隔を保持するために、写真-2に示すような鉄パイプ(φ50)を半割にした高さ 25mm のスペーサを取付けていた。しかし、圧入時に鋼板が傾いた際に、スペーサと柱が密着して抵抗となる現象が見られた。

そこで、写真-3に示すような車輪を用いたローラ式スペーサを開発し、鋼板が傾斜してスペーサと柱が接しても圧入の抵抗とならないようにした。



写真-2 半割パイプスペーサ



写真-3 ローラ式スペーサ

4. 2 振動機の騒音

写真-4に示す油圧ハンマによる騒音は、震源から 5m 離れた位置で約 70dB、10m では約 65dB であり、特定建設作業などの法令には抵触しない。しかし、本工法は夜間作業も想定しているため、より騒音が小さい振動モータ(振動数 47.5Hz)を使用することとした。振動モータを写真-5に示す。

4. 3 油圧ジャッキの位置

1 回目の試験ではジャッキを相対する 2 面に設置していた。しかし、鋼板が傾斜した際に、ジャッキ圧の調整だけでは傾斜の補正が難しいことが判明した。

そこで、ジャッキを 4 面に設置して、各面のジャッキ圧を調整することによって鋼板の傾斜を補正できるようにした。



写真-4 油圧ハンマ



写真-5 振動モータ

4. 4 高圧水の閉塞

高圧水による地山の攪拌は、圧入の補助として非常に有効であることが確認できた。しかし、反力台の移設などによる圧入中断時に、高圧水を止めると、負圧が生じ、砂が水管内に逆流して水管を閉塞させる現象が起こった。

そこで、高圧水を止める際は、水管の先端を水面上まで引上げて止め、再度噴射する際は、水面上で噴射を確認してから挿入するように対応することとした。

4. 5 反力台の固定

1 回目の試験では反力台は摩擦力のみで固定されていた。しかし、鋼板圧入時に反力が圧入力に負けて反力台が滑る現象が生じた。反力の増強は緊結による摩擦力だけでは限界があると考えられた。

そこで、柱にアンカーを打設して反力を増強することとした。

なお、実際の現場においてアンカーの打設ができない場合は、上床版から突っ張って反力を取るなどして対応する。

5. 2 回目施工試験

写真－6 に 2 回目の試験状況を示す。

1 回目の試験結果から改良を加えて、再度、施工試験を行った。その結果、1.3m の鋼板 2 段(2.6m)を円滑に圧入することができた。

1 回目と 2 回目の施工試験より得られた各種作業の平均施工時間は表－1 の通りである。

表－1 より、鋼板の圧入速度 V は式(1)により求められる。

$$\begin{aligned} V &= 1 \text{ ストローク長} / \text{所要時間} \\ &= 300 / 6 \\ &= 50 \text{ mm} / \text{分} \end{aligned} \quad (1)$$

表－1 と式(1)より 1 段の鋼板圧入に必要な時間 T は式(2)、(3)により求められる。

$$n_i = h / s_t \quad (2)$$

$$\begin{aligned} T &= A + B \cdot n_i + h / V \\ &= 120 + 10 \cdot n_i + h / 50 \end{aligned} \quad (3)$$

ここに A : 鋼板設置・接続時間(120 分)

B : 反力台設置・盛替時間(10 分)

n_i : ジャッキの盛替え回数(切上げ)

h : 鋼板の高さ(mm)

V : 圧入速度(50mm/分)

s_t : ジャッキストローク(mm)

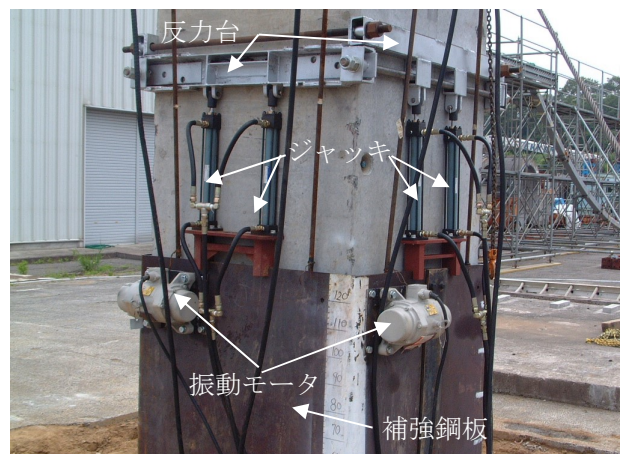
式(2)、(3)を用いて、鋼板高さ $h=1,300\text{mm}$ 、ジャッキストローク $s_t=300\text{mm}$ の場合の圧入時間計算例を以下に示す。

$$n_i = 1,300 / 300$$

$$= 4.33 \div 5 \text{ 回(切上げ)}$$

$$T = 120 + 10 \cdot 5 + 1,300 / 50$$

$$= 196(\text{分})$$



写真－6 2回目試験状況

表－1 各種作業施工時間

作業内容	時間(分)
鋼板設置・接続	120
反力台設置・盛替	10
ジャッキ圧入 (1 ストローク 300mm)	6

鋼板が複数段ある場合は、1 段の鋼板圧入に要する時間 T に段数を乗じれば圧入時間が算出できる。

例えば、高さ 1,300mm の鋼板が 3 段あれば、196 分を 3 倍して 588 分となる。

6. 間隙充填

鋼板の圧入完了後、耐震性能を確保するために、鋼板と柱の間隙は充填材を必要とする。従来は、セメントミルクなどのグラウト材をそのまま間隙にあふれるまで注入していた。しかし、本工法では、高圧水による地山の攪拌を行っているため、グラウト材が鋼板の下端から周辺地山に逸走することが予想された。これでは、充填材の使用量が大幅に増加する上に、土壤汚染や水質汚濁など、周辺環境に悪影響を与えると考えられた。

そこで、写真-7 に示すような袋状のチューブを鋼板と柱の間隙に挿入し、袋の中にグラウト材を注入して、間隙を充填することとした。

袋状のチューブは柱の四隅に設置してグラウト材の注入を行った。その結果、写真-8 に示すように、所定の量で確実にグラウト材が充填されることが確認できた。

袋状のチューブの使用によって、注入が定量で確実にできることに加えて、注入部分を限定できるために、四隅だけをグラウト材で充填して、ほかの部分は砂で埋め戻すなどのコスト削減を図ることも可能である。

施工上の留意点として、図-1 左側に示すように袋を挿入する際、棒などで挿入すると、袋が下端部に向かって幅が狭くなる可能性がある。そこで、図-1 右側に示すように袋の底部を広げるのものを使用して挿入するようにする。また、注入量を管理して袋が広がっているかをあわせて確認する。



写真-7 袋状チューブ

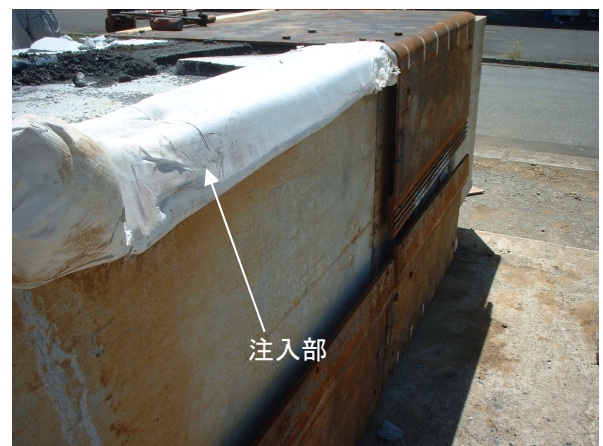


写真-8 充填確認

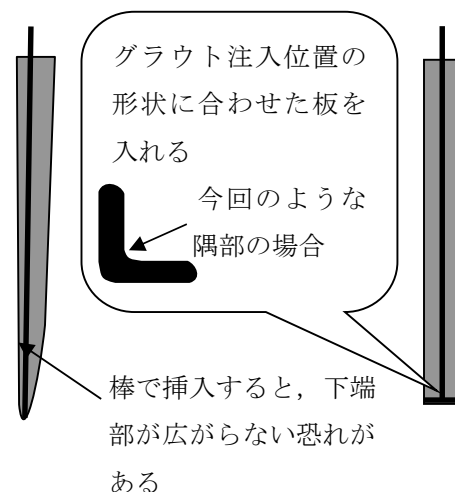


図-1 袋挿入時の留意点

7. 礫対応

今回の試験は礫分を含まない地層で行ったため、鋼板と柱の間隙が 35mm 程度と非常に狭隘であったにもかかわらず、円滑な圧入を行うことができた。しかし、実施工に際しては礫分をまったく含まない地層は稀である上に、鋼板と柱の間隙に礫や玉石が入ると圧入の妨げとなり、圧入不能になる恐れもある。そこで、多少の礫分を含んでいる場所でも圧入ができるように、**図-2**に示すように鋼板の下端部を裾絞り構造とし、高圧水を鋼板の外側に設置して礫が鋼板と柱の間隙に入らないような対策を行う必要があると考えられる。

現場への導入にあたっては、地山の状態、特に礫の混入については十分な調査と検討が必要である。

8. まとめ

鋼板圧入による耐震補強工法の施工性について施工試験を行った結果、以下の知見を得た。

- ① 油圧ジャッキによる鋼板の圧入は可能であり、柱の四辺または四隅に個別制御可能なジャッキを設置することによって、鋼板の垂直性を確保、調整しながらの施工ができる。
- ② 高圧水による地山の攪拌と振動モータによる鋼板の揺動は圧入の補助として非常に有効である。
- ③ 本工法は従来の開削工事を伴う工法と比較して、工期で約 3 割、コストで約 2 割の縮減が可能である。
- ④ 本工法で使用する資機材の重量は、すべて手運搬が可能(最大 200kg 程度)であり、大型重機の使用が困難な室内や空頭制限のある場所での施工にも対応できる。

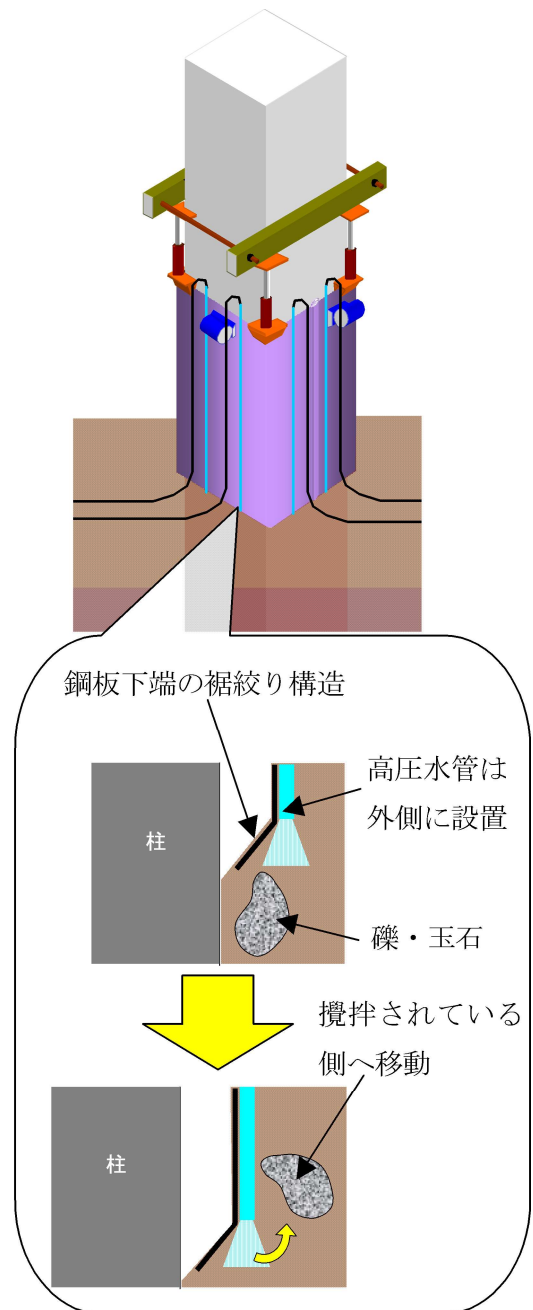


図-2 鋼板圧入工法礫対応イメージ図

以上のように、従来工法と比較して本工法の有効性を確認することができた。

今後は現場施工を通じて改良を重ね、より適用性の高い工法へとステップアップを図る所存である。