

# 再び注目を集める 「超薄型ジャッキ（フラットジャッキ）工法」

赤間淳一\*1・加藤武彦\*2・中村雅之\*3

**概要** 超薄型のフラットジャッキは、1938年にプレストレストコンクリート（PC）の祖である Eugène Fressynet 博士（フランス）により発明され、70年を過ぎた現在も世界中で使用されている。構造は、周囲に半円形の凹みを有する2枚の薄い軟鋼板を溶接により接合したもので、外周部に注入口と排出口を有している。その原理は、注入口より液圧をかけて、ジャッキの両面は互いに引き離されるように変形し、大きな揚力が発生する。狭隘な場所で使用可能であり、構造が単純で故障がなく、軽量で低価格という特長がある。重量物の支持、移動、クリープ変形の修正等の他に、橋梁支承の交換工事や建築物の免震化工事に使用されている。今後、フラットジャッキの独特の特徴を生かし、構造物の設計や施工計画において、新しい発想に基づく、時代のニーズにあった合理的な使用方法が創造されることが期待される。

**キーワード**：フレシネー、フラットジャッキ、狭隘なスペース、橋梁支承交換工事、建築物の免震化工事

## 1. はじめに

「超薄型ジャッキ（フラットジャッキ工法）」の着想は古く、フランスの Eugène Fressynet 博士が1938年にアルジェリアの beni-Bahdel ダム建設中に発明したとの記録がある<sup>1)</sup>。また、プレストレストコンクリートの黎明期である1953年に、既にフランスの Y.GUYON は、自著の「BÉTON PRÉCONTRAINTE」の中で、フレシネーの「フラットジャッキ」を紹介している<sup>2)</sup>。本書では、「鋼弦のないプレストレス法」と称して、PC鋼材を使用せず、なんらかに反力を負担させてコンクリート構造物中にプレストレスを導入する工法と記述されている。

フラットジャッキの特徴は次のとおりである。

- 1) ピストンのないジャッキであり、高さが低いのでスペースの狭い場所で使用できる。
- 2) 有効面積により100kNから5,000kNを超える揚力を発生できる。
- 3) 構造が単純なため、故障がない。
- 4) 軽量で取り扱いが容易である。
- 5) 低価格である。

「フラットジャッキ」の外形や構造は、発明された当時からほとんど変わっていない。その一方で、適用事例は、近年建設需要が増大している維持補修、耐震補強等の分野に拡大している。

本稿は、「フラットジャッキ」の構造を説明するとともに、特に近年の適用事例を紹介し、独特の特徴を有する機材として、本設、仮設計画において今後さらなる応用の拡大を促すことが目的である。写真-1にフラットジャッキの断面を示す。

## 2. フラットジャッキ技術

### 2.1 フラットジャッキの原理

フラットジャッキは周囲に半円形の凹みを有する2枚の薄い軟鋼板を溶接により接合したもので、その外周部には注入口と排出口を有している。その原理は、注入口より液圧をかけると、ジャッキの両面は互いに引き離されるように変形し、(圧力)×(有効面積)の揚力を発生する。図-1にフラットジャッキの構造を、図-2に揚力発生機構を示す。注入材には使用目的に応じて、水またはセメント系注入材を選択できる。



写真-1 フラットジャッキ

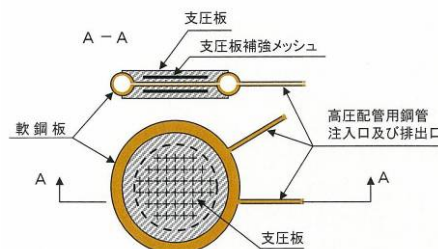


図-1 フラットジャッキの構造

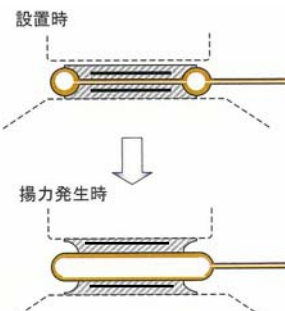


図-2 フラットジャッキの揚力発生機構

\*1 あかま・じゅんいち／極東鋼弦コンクリート振興㈱ プロジェクト部

\*2 かとう・たけひこ／極東鋼弦コンクリート振興㈱ プロジェクト部

\*3 なかむら・まさゆき／極東鋼弦コンクリート振興㈱ 技術部(正会員)

とても簡単な構造であり、注入圧力により、ゆっくりと安全確実に、大きな揚力を作用させることができる。この時、注入圧力を測定することにより実反力を正確に知ることができる。また、複数のフラットジャッキを連動配管することで、大きな揚力を均等に作用させることができる。理論上無限の連動配管が可能であり、30数台までの連動配管の実績がある。

## 2.2 フラットジャッキの性能

フラットジャッキは冷間圧延鋼材を深絞り成形により塑性加工した2枚の板を溶接により接合したものであ

り、2本の管が溶接により取り付けられている。支圧板は鋼製メッシュにより補強されたモルタル板である。

### (1) フラットジャッキの諸元

フラットジャッキには円形と長方形の2種類があり、それぞれ揚力を作用させる構造物の形状に合わせて選定できる。図-3および表-1、表-2に円形と長方形のフラットジャッキの諸元を示す。注入圧力12MPaにて常用許容揚力を得る。支圧板を含む厚さが30mmおよび41mmであり、このフラットジャッキの厚さがシリンダージャッキでの機械高さに相当する。きわめて薄いジャッキであ

表-1 円形フラットジャッキの諸元

	FJ-10	FJ-18	FJ-30	FJ-34	FJ-50	FJ-80	FJ-120	FJ-170	FJ-250	FJ-360	FJ-500
直径 $D$ (mm)	130	160	200	210	250	300	360	420	500	600	700
厚さ $e$ (mm)	25	25	25	25	25	25	25	25	25	36	36
常用許容揚力 (kN)	78	141	235	267	394	627	941	1,334	1,962	2,825	3,924
最大ストローク (mm)	25	25	25	25	25	25	25	25	25	36	36
容量(リットル)	0.332	0.502	0.785	0.885	1.23	1.77	2.54	3.46	4.91	10.2	13.8

注：支圧板を含む厚さは上記厚さ $e+5$ mm、容量は最大ストローク時

表-2 角形フラットジャッキの諸元

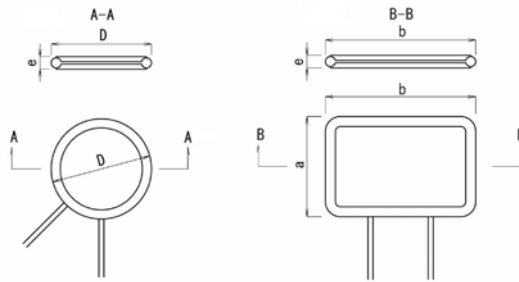


図-3 フラットジャッキの形状

	FJ-200×200	FJ-200×350	FJ-500×500
縦 $a$ × 横 $b$ (mm)	200×200	200×350	500×500
厚さ $e$ (mm)	25	25	36
常用許容揚力 (kN)	235	431	1844
最大ストローク (mm)	25	25	36
容量(リットル)	1.00	1.75	9.00

注：支圧板を含む厚さは上記厚さ $e+5$ mm

容量は最大ストローク時

## Super thin-type Flat Jack

By J. Akama, T. Kato and M. Nakamura

Concrete Journal, Vol.49, No.2, pp.18~pp.24, Feb.2010

**Synopsis** The super thin-type Flat Jack was invented in 1938 by Dr. Eugene Freyssinet, who is the ancestor of the pre-stressed concrete (PC) technology, and it has been still now world-widely used since 70 years ago. Its structure is a deformable steel vessel made out of two thin steel plates, both of which are troughed at their peripheries and which edges are joined together by welding. At the external edge, two holes for hydraulic injection and air outlet are arranged. The principle is as follows; when a hydraulic pressure is applied from an injection whole, both faces of the jack are deformed separately to yield lifting power.

Its special features and advantages are applicable at narrow spaces because of the thin jack, no breakdown due to a simple structure, light-weight and low cost. This is applied as a support and for movement of heavy structures, and also adjustment of structures deformed by concrete creep. And recently, the cases of applying for replacement of bridge shoes and for installation of the seismic control devices to the buildings are increasing.

From now on, it is expected that any practical usages in the fields of designing and construction planning of structures are developed based on any novel ideas to utilize unique feature of the Flat Jack.

**Keywords:** Freyssinet, Flat Jack, Narrow spaces, Replacement works of bridge shoes, Seismic control works for building

るといえる。フラットジャッキの最大ストロークは25mm および36mm である。大きなストロークが必要な場合には複数枚を重ねて使用することができる。

### (2) 連動配管

配管材には、外径φ10mm・肉厚1.5mmの高圧配管用炭素鋼管を使用している。専用の配管接続具（くい込み継手）を用いて水密性を確保している。4台連動配管の例を図-4に示す。各フラットジャッキの注入側にはストップバルブを、排出側にはストップバルブと圧力計を配置する。連動配管はポンプからの配管長さが等しくなるようにトーナメント式に接続する。

フラットジャッキでは溶接部分の品質保障のため、すべての製品について15MPaの耐圧試験を実施している。表-1～表-2の範囲を超える大きな揚力が必要な場合は、受圧面積を大きくすることにより大容量ジャッキの特注製作も可能である。

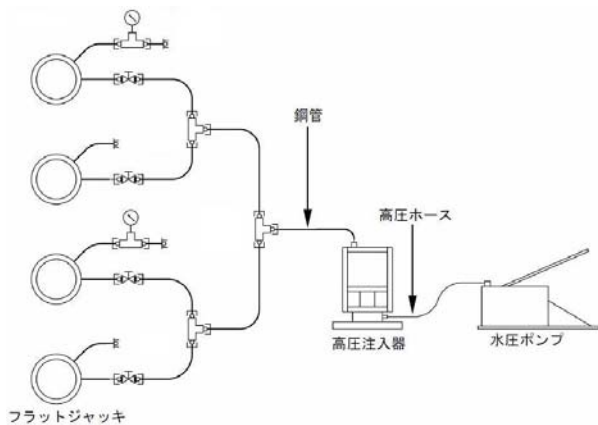


図-4 4台連動配管の例

### (3) フラットジャッキ用セメント系注入材

フラットジャッキ用セメント系注入材は高炉セメントB種とCS系収縮低減材を主成分とする注入材である。塑性粘度が高くノンブリーディングであり、水中不分離性に優れ、加圧による材料分離が無く高圧力下での注入が可能である。可使時間が6時間程度と長く、長時間にわたり流動性を確保できる。CS系収縮低減材の使用により硬化収縮率は0.5%以下である。このセメント系注入材の開発により、フラットジャッキの埋め込み施工が可能となった。

## 3. 海外における事例

フラットジャッキは、その発明以降、ヨーロッパの業者により海外で多くの実施例がある。使用目的で分類すると次の通りである。

### (1) プレストレッシング

- ・ Beni-Bahdel ダム (アルジェリア) 1938

コンクリートアーチダムを7mかさ上げする工事に使用された<sup>2)</sup>。

- ・ Balma 船型試験水槽 (フランス) 年代不明

トゥルーズ付近のBalmaにある船型試験水槽は、断面が幅11m、高さ8.5mの断面で、長さが1200mの構造であった。長さ50mずつ製作し、その間5cmのジョイント部に、フラットジャッキを設置し、軸方向に平均約20～30kg/cm<sup>2</sup>プレストレスを導入した<sup>2)</sup>。

- ・ モンブラン道路トンネル (フランス) 2000

1999年のモンブラントンネルの火災事故の修復工事の内、道路部分L=2900mに、フラットジャッキによりプレストレスを導入した<sup>2)</sup>。

### (2) 応力測定

- ・ Presidente Costa e Silva 大統領橋 (ブラジル) 1974

構造物の残留応力を測定するため、コンクリートの切り込みの中に、ひずみゲージとフラットジャッキが配置された。構造物の変形が、切り込みを作る前の状態に回復するまで加圧することにより残留応力を計測した<sup>2)</sup>。

### (3) 撤去工事

- ・ マルヌ河にかかる橋梁群 (フランス) 1945

多種にわたる橋梁建設時に、支保工撤去時に短期に安全な施工法として多用された<sup>2)</sup>。

- ・ Montreal Olympic velodrome 撤去 (カナダ) 1975

モントリオールオリンピック競輪場の屋根を撤去するため、226個のフラットジャッキで、合計22,000tの反力を生み出した。写真-2にモントリオールオリンピック競輪場屋根の撤去状況を示す<sup>2)</sup>。



写真-2 モントリオールオリンピック競輪場屋根の撤去

### (4) クリーブ変形を減少

- ・ Luzancy 橋 (フランス) 1945

マルヌ市を流れるセヌ河にかかる橋である。フレジネ博士は、橋台と桁の間にフラットジャッキを設置し、クリープ変形を修正した<sup>2)</sup>。

- ・ Gladesville 橋 (オーストラリア) 1962

Sydney市にあるスパン304mのコンクリートアーチ橋である。コンクリートの収縮や温度による伸縮によるアーチの変形を抑えるため、数百個のフラットジャッキを組み込んだ精巧な制御システムを取り付けた<sup>2)</sup>。

### (5) 荷重の移転、アンダーピニング

- ・ York Cathedral (イギリス) 1975

寺院建築の修復工事である。施工中荷重を仮支持し、新しい基礎に受け替えた<sup>2)</sup>。

・ Denon façade of the Louvre museum (フランス) 2003

ルーブル美術館の修復工事において、数百台の100トンフラットジャッキで柱を仮支えた。写真-3にルーブル美術館ドゥノン翼ファサードでのフラットジャッキの使用状況を示す<sup>2)</sup>。



写真-3 ルーブル美術館ドゥノン翼ファサード

・ Shopping Center in Velizy, Paris (フランス) 2008  
床の強度を 500kg/m<sup>2</sup> から 1,000kg/m<sup>2</sup> に増強した<sup>2)</sup>。

(6) リフティング

・ Abou-Simbel 寺院 (エジプト) 移転工事 1964

アスワンハイダムの建設により水没するアブ・シンベル大寺院を人工的に作られた水位線上に岩版に移設した。写真-4に移設したアブ・シンベル大寺院を示す<sup>2)</sup>。



写真-4 アブ・シンベル大寺院



写真-5 オルタキョイ高架橋のゴム沓とフラットジャッキ

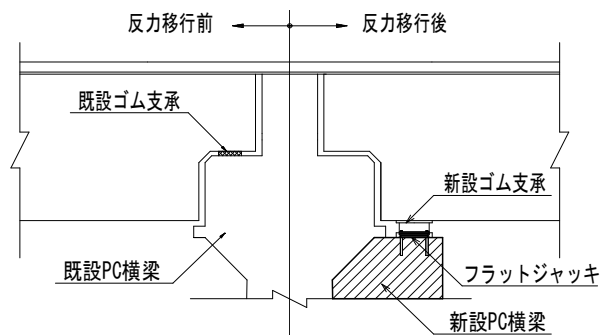


図-5 反力移転前後の支承配置図

(7) 新設支承の反力移転工事

・ Ortakoy Viaduct (トルコ・イスタンブール) 2008

第一ボスポラス橋に連なる3橋のPC連続T桁高架橋(V408, V409, V411)の耐震補強工事において、新設したPC横梁上に新設ゴム沓を設置し、フラットジャッキにより反力移転を行った<sup>3)</sup>。写真-5に沓とフラットジャッキの配置状況を、図-5に反力移転前後の支承配置図を示す。10主桁、10基の新設沓に10台のフラットジャッキを連動配管して設置した。3橋合計480基のフラットジャッキを使用した。

4. 国内での最近の実施例

4.1 維持補修工事(橋梁支承の交換)

フラットジャッキを用いた橋梁の支承交換方法は、フラットジャッキの使用法として次の2つに大別される。フラットジャッキを新設支承の直下に配置して反力を受けかえて埋め込む方法と、フラットジャッキをジャッキアップおよびジャッキダウンのみに使用する2つである。

(1) 支承新設方式

コンクリート桁橋は、支点断面の剛度が大きいので、橋座部の支間側に新しい支承を設けることができる。鋼製沓座型枠にフラットジャッキとゴム沓を配置し荷重受け替えた後、モルタルを打設してフラットジャッキ本体を埋め込む。既設沓は撤去しないことが多い。フラットジャッキ配置の橋座スペースが不足する場合は、橋台、橋脚のRC構造縁端拡幅等を設けて、その位置に新設ゴム支承を設置する。コンクリート橋での適用例が多い。図-6に支承新設方式の概要を示す。

(2) 荷重一時仮受け替え方式

鋼桁の場合は仮受け位置に主桁補剛材の補強を行い、その位置の桁下空間にフラットジャッキを設置し、水注入にて主桁荷重を一時的に仮受け替える。旧支承の補修あるいは取替えが完了した時点で、フラットジャッキの水を排出し荷重を支承に移転する。図-7に荷重一時受け替え方式の概要を示す。ジャッキのセット空間が狭い個

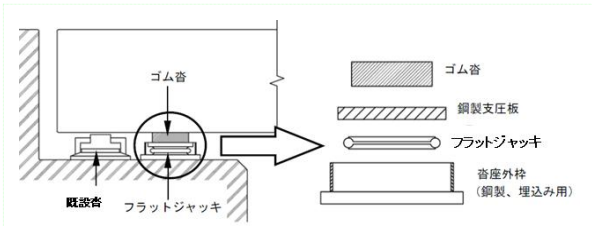


図-6 支承新設方式の概要（側面図）

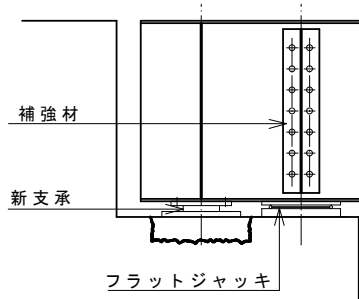


図-7 支承交換方式の概要（側面図）

所にジャッキ本体を直接セットできるため、下部工にブラケットを設置したり、地盤面にベント設置したりすることなく簡易的で経済的な施工が可能である。鋼橋およびコンクリート橋に適用できる。

#### 4.2 免震化工事（建築構造物）

免震レトロフィット構法は、既存建物の基礎や中間階柱に免震装置を設置して建物全体を免震化することにより、地震の揺れそのものを減じ地震の強いゆれをゆっくりしたゆれに変えて、建物内の人々の安全性を確保するとともに設備什器類の破損防止を目的にした構法である。地震後も建物の機能を維持することが可能なため、歴史建物や病院・公共建物等に、フラットジャッキを用いた免震レトロフィット構法が実施される事例が増えている。免震レトロフィット構法は、免震装置を設置する位置により、基礎免震と中間層免震に大別されるが、いずれの方法においても、既存の柱に免震装置を組み込む必要がある。図-8 に中間層免震の施工順序を示す。免震装置を組み込むためには、まず既存柱が負担していた荷重を油圧ジャッキ等により仮設の柱に受け替え、その後、柱を切断して免震装置を設置し、最終的に仮設柱の荷重を移転する。この時はじめて免震建物としての機能が付与される。しかし、免震装置に仮設の柱が負担していた荷重を移設する際に、免震装置の弾性変形分と柱部材の除荷した部分の弾性縮み分だけ短くなるため、場合によっては隣接する柱に余分の荷重が作用し構造材や仕上げ部材が損傷することがある。これを解決するには、免震装置の直近にフラットジャッキを組み入れ、荷重移転の際に発生する上下方向の弾性変形を吸収させる必要がある。フラットジャッキは、このような小スペースでの荷重移転に適したジャッキであり、セメント系注入材を用いることによりジャッキ変位を固定し埋め込むことがで

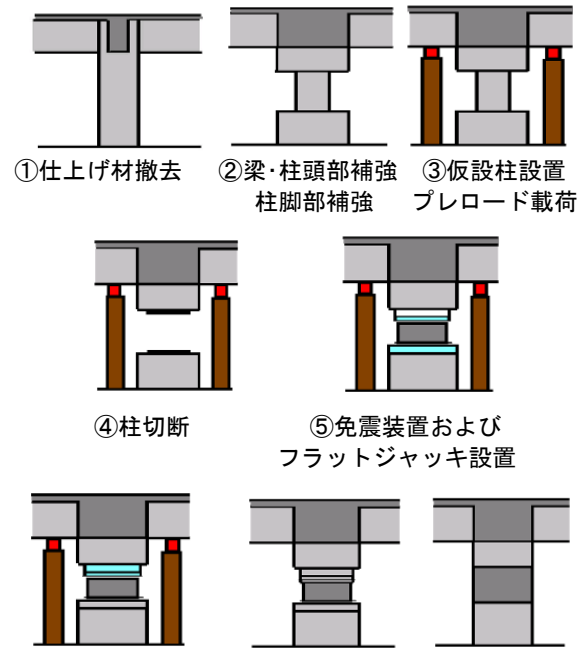


図-8 免震レトロフィット構法（中間層免震）の施工

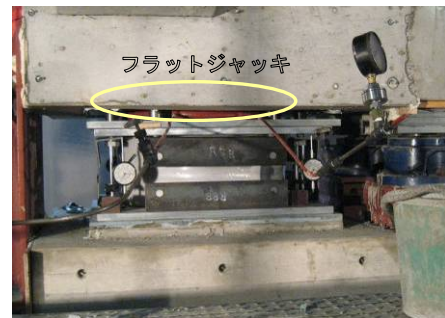


写真-6 免震装置とフラットジャッキの取り合い



写真-7 基礎免震化工事

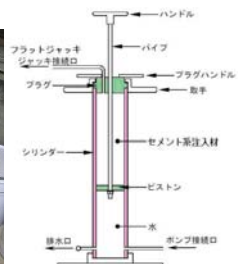


写真-8 セメント系注入材用機材

きる。

免震レトロフィット構法は、大地震時の人命の安全性や地震後の補修にかかるコストや時間を抑えることができる優れた構法である。今後も、より確実な施工を実施するためフラットジャッキの使用は欠かせないと考える。免震化工事にフラットジャッキを用いるメリットは以下の通りである。

- ・仮設柱から免震装置へ荷重を移転する際に生じる上下方向の弾性変形と負担荷重を制御することができる。これにより新築の免震建物と同等の免震効果が得られる。
- ・工区分割施工が可能のため仮設柱の低減が図れ、施工規模によってはコスト低減につながる。また改修工事中も建物の使用が可能である。(居ながら施工)
- ・セメント系注入材の注入によりジャッキ変位を固定し構造躯体に埋め込むことが可能である。
- ・免震装置外径に合わせたフラットジャッキを選択できるため、偏心を最小にすることが可能である。

このようにフラットジャッキは免震レトロフィット構法の施工上の問題点を解決する優れた機材である。

写真-6～8に施工写真を示す。写真-6は徳海屋ビル(戸田建設(株)施工)での荷重導入状況(セメント系注入材を注入)、写真-7は三洋化成工業(株)本館の免震化工事(大日本土木(株)施工)での荷重導入状況である。写真-8に注入機材(後方が手動式水圧ポンプ、手前が高圧注入器、右図は高圧注入器の概要)を示す。

#### 4.3 その他の事例

##### (1) 架設時の補強

RC連続ラーメン鉄道高架橋の調整桁は、ゴム支承に支持された2主桁の単純RC桁であり支点横桁もRC構造である。本橋では施工時に、この支点横桁上に架設用ダブルガーダーが設置され、さらにポストテンションPCT桁架設時に横取りをおこなうため、大きな反力が作用する。このためゴム支承が過大な反力を受ける。ポストテンションPCT桁重量は40.8t、ガーダー重量は53.8tである。桁架設時のRC横桁の補強とゴム支承の反力低減にフラットジャッキを用いた。橋脚とRC横桁の隙間にフラットジャッキFJ-50を10基使用し、水注入により揚力を発生させRC横桁を支持した。ポストテンションPCT桁架設完了後に水を排水しフラットジャッキを撤去した。図-9にフラットジャッキの設置概要図を示す。

##### (2) 既設建造物の振動抑制

RC連続ラーメン高架橋の振動抑制のため、張出し端部補強工に用いた事例である。1960年代に建設されたRC連続ラーメン構造の新幹線高架橋は、その端部が張り出し構造となっており、近年の交通量の増大によりたわみ・振動が大きくなる傾向が見られた。これに対処するために鋼製の支柱を設置し、張り出し部先端を支持する構造へ改築する工事が進められている。フラットジャ

ッ

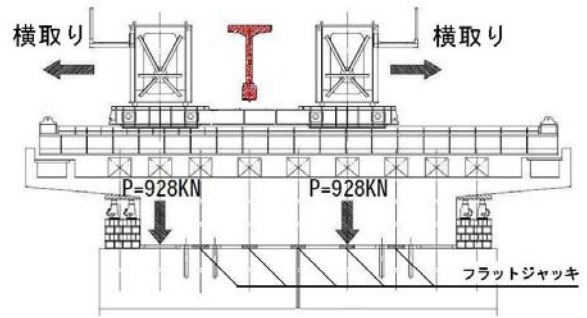


図-9 フラットジャッキ設置概要図

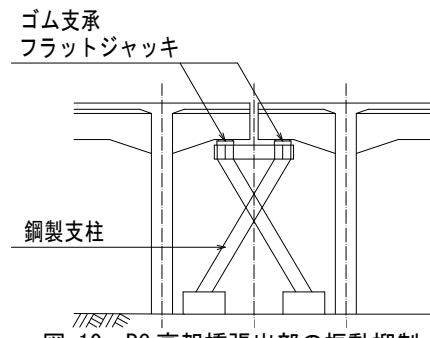


図-10 RC高架橋張出部の振動抑制

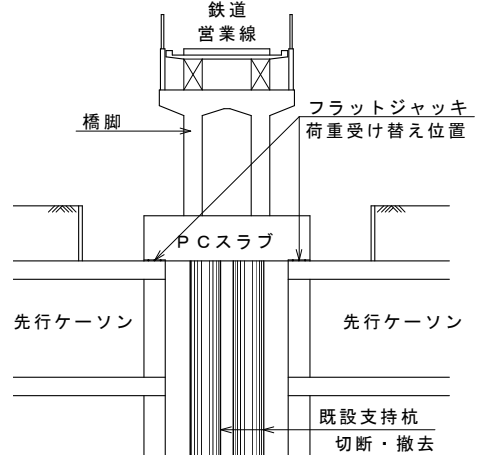


図-11 アンダーピニング概要図

キは支柱天端に設置するゴム支承の反力伝達のために用いられている。揚力はセメント系注入材の注入により発生させた。図-10にRC高架橋張り出し部の振動抑制工の概要を示す。図-10のケースではフラットジャッキを4台連動配管して注入を実施した。セメント系注入材硬化後、フラットジャッキ部をモルタルにより巻き立てた。

##### (3) アンダーピニング

アンダーピニングの事例として、鉄道を供用しながら高速道路を構築した、アンダーパス工事を図-11に示す<sup>4)</sup>。この事例では、橋脚基礎を巻き込むPCスラブ構築し、先行して沈設させたケーソンを支点としてアンダーピニングを実施している。アンダーピニング後、橋脚の支持する荷重をフラットジャッキでケーソンに分担させ(プ

レロード), 既設の支持杭を切断・撤去し躯体構築を行ったものである。このようなアンダーピニング工事は現在までに十数件の実施例がある。

土木学会トンネル標準示方書[開削工法]同解説(2006年制定)では、仮受けから本受けへの盛替えの際に新設基礎と既存構造物との間隙をなくすための資機材としてフラットジャッキが示されている<sup>5)</sup>。

## 5. おわりに

フラットジャッキは、構造上、狭い空間で大きな圧力を作用させることができる独特の特徴を持った機械であるがため、本稿で紹介したように、海外では今から70年以上も前から現在に至るまで多種の工事で使用され続けている。一方、日本においては、1952年の技術導入以来、幾多の使用実績があるが、スポット的な採用に限定されているような感がある。しかし過去には、藤田亀太郎により「フラットジャッキによるプレストレス導入法の研究」と題して、原子力発電所で採用されるPC圧力容器(PCPV)への適用を考察した論文を1966年の土木学会論文集第128号に発表している<sup>6)</sup>。この研究は残念ながら実現には至っていないが、今後、コンクリート構造物の設計や施工計画において、フラットジャッキが大胆に応用され、適用可能範囲が拡大していくことを予感させるものである。特に、新設工事が減少し、維持補修工事や耐震補強工事が増加している状況の中では、今後

ますますフラットジャッキが採用される機会が増加していくと考えている。

本稿をきっかけとして、フラットジャッキの適用事例が増加し、構造物の効率的な施工や工事の安全に寄与することを願ってやまない。

## 参考文献

- 1) Freyssinet research & development : THE FLAT JACK:A SOURCE OF POWER, Soil & Structures, pp34~pp35, 2008.10
- 2) Y.GUYON : BÉTON PRÉCONTRAINTE 1953  
藤田亀太郎監修, 大島久治, 中野清司訳 : プレストレストコンクリート 一理論と応用一, 共立出版, pp60~64, 1958.11
- 3) 立松博ほか : オルタキョイ高架橋耐震補強工事の施工報告, 第18回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, pp71~pp74, 2009.10
- 4) 菅野谷敏彦ほか : アンダーピニング作業における支持杭切断時の荷重受変について, 土木学会第58回年次学術講演会, VI-287, pp673~pp674, 2003.9
- 5) 土木学会 : トンネル標準示方書[開削工法]同解説, pp244, 2006.7
- 6) 藤田亀太郎 : フラットジャッキによるプレストレス導入法の研究, 土木学会論文集, 128号, pp29~pp43, 1966.4