

フラットジャッキによる切梁プレロード計画と施工

Planning & Construction of Strut Preloading by Flat-Jack

林 謙介*
Kensuke Hayashi

神田 富春**
Tomiharu Kanda

市川 寛***
Hiroshi Ichikawa

要 約

都市部における大規模開削工事において、連続地中壁に鋼製支保工という組み合わせは、最近、多く見られるものである。

香港地下鉄の駅コンコース建設においても同様の施工を行ったが、特に大切梁荷重に対応するために、切梁プレロードに際してフラットジャッキという薄い円盤型のジャッキを使用し、効率的かつ信頼性の高い施工を行うことができた。

目 次

- §1. はじめに
- §2. 全体工事概要
- §3. 計画
- §4. 施工と実績
- §5. おわりに

開発されたものである。しかし、現在ではその他種々の方面でも用いられるようになっている。本工事でも、その施工性、信頼性の高さから、今回切梁プレロード用に採用することにした。

以下は、その報告をするものである。

§1. はじめに

今回の工事は、香港地下鉄の第3期にあたるISL(Island line)の一部であり、香港の行政、商業の中心であるセントラル地区において、駅コンコースを建設したものである。現場周辺には高層ビルが林立し、それらの基礎は比較的浅く貧弱であり、工事の影響を非常に受け易い。

このような場所において大規模開削工事を行うにあたっては、土留壁の変形を最小限におさえるために支保工にプレロードを導入することは、非常に有効である。本工事においても、企業先の厳しい要求を満足し、更に掘削能率を向上させるために選定した大断面集中切梁に対し、大規模のプレロードの導入を行った。

プレロードに用いたフラットジャッキは、非常に薄型のもので、本来は狭小な場所での外部プレストレス用に

§2. 全体工事概要

現場の配置図及び断面図をFig.1,2に示す。

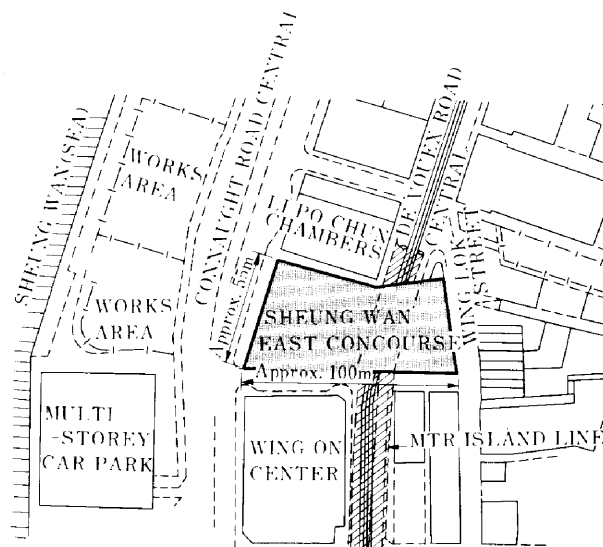


Fig.1 現場配置図

*香港(支)設計課
**香港(支)MRT南(工)
***香港(支)設計課長

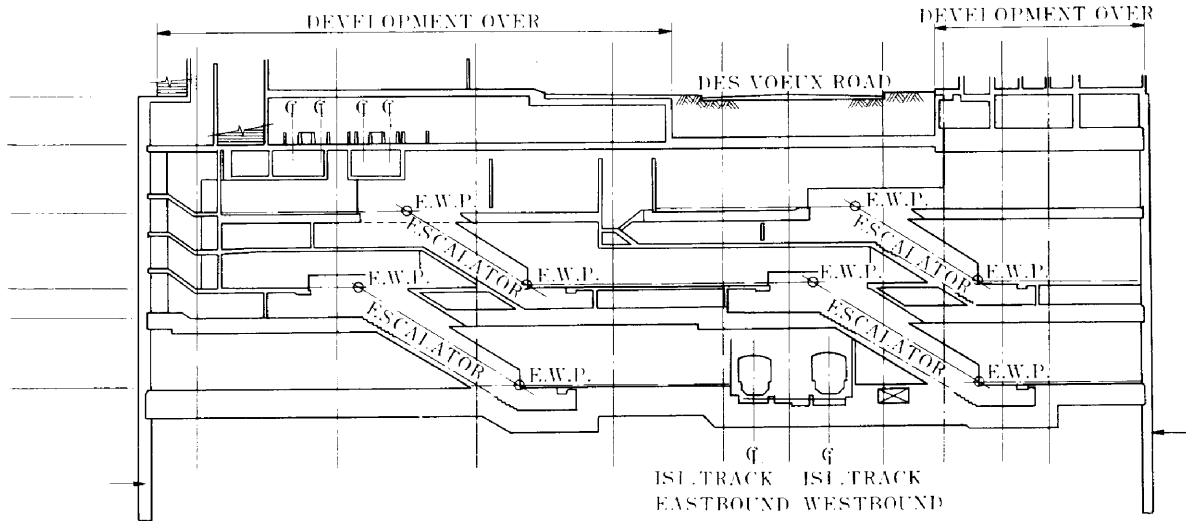


Fig.2 縦断面図

- (1) 工事名
ISLAND LINE CONTRACT 401
Sheung Wan East Concourse
- (2) 企業先
MASS TRANSIT RAILWAY CORPORATION
HONG KONG
- (3) コンサルタント
MAUNSELL CONSULTANT ASIA
- (4) 工期
1982年(昭和57年)5月22日～1986年(昭和61年)7月20日(4年2ヶ月)
- (5) 施工内容
 - (a) 施工面積：約4,000m²
 - (b) 連続地中壁 深さ：平均40m
壁厚：1.2m
 - (c) 構築掘削 深さ：28～30m
土量：約100,000m³
 - (d) 構築 コンクリート：27,300m³
鉄筋：5,200t
 - (e) 基礎 リバース杭(φ2.5m)：20本
バレット杭(地中壁杭, 1.2m×5.5m)：36本
- (6) 施工方法
連続地中壁仮設本体兼用による逆巻工法
- (7) 概略工事金額 2.5億香港ドル

構造物及び施工に伴って発生する幾多の問題を処理することであった。

ここで特に切梁の設計に対して、企業先である Mass Transit Railway Corporation (以下MTRと略す) から以下のような諸条件が厳しく設定されてあった。(Fig. 3及びTables 1参照)

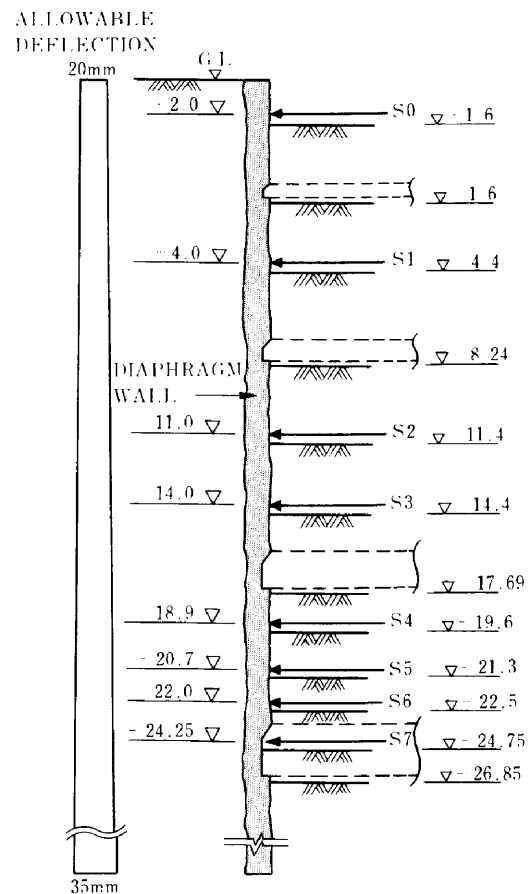


Fig.3 切梁設置条件規定図

§ 3. 計画

3-1 設計

今回の工事における我社の設計範囲は、すべての仮設

Table 1 規定設計条件

段	最終荷重 (t/m)	プレロード荷重 (t/m)	圧縮剛性 (kN m/m)
S0, S1	50	20	125,000
S2, S3	100	50	125,000
S4, S5, S7	125	70	175,000
S6	150	70	175,000

- a) 基本的掘削手順 (逆巻工法)
- b) 切梁の設置レベル
- c) 切梁撤去時の指定
- d) プレロード導入時及び最終時の切梁荷重
- e) 切梁に必要な最小剛性
- f) 連続地中壁の許容変位

これらの諸条件を満たし、かつ、より経済的な切梁の計画と設計が工事遂行上求められた。

3-2 切梁計画

切梁計画においては、特に次のような点が留意された。

- (1) 本体の構築が逆巻き工法によるものであり、本体スラブに設けられた、掘削及び資材搬入搬出のための開口部の下方には、切梁を設置しないこと。
- (2) 掘削土量が膨大であるため、工事を左右する要因である掘削工事に支障をきたさないような配置を行うこと。つまり、
 - ① 掘削機械が効率的に機能できること。
 - ② 切梁架設後に、区域毎に、かつ、部分的に掘削の開始が可能であること。
- (3) 長辺方向のスペンが約80~90mと、かなりの長さであり、企業先が規定した切梁剛性を満足するためには、この点の対応がポイントであること。
- (4) 平面形状が不規則であること。

以上のような点を考慮し、基本的な切梁配置を決定した。

短辺方向 (スパン長約40m) に関しては、ラチス材を用いた組立圧縮材を主部材として端部に火打ち梁を設けた集中切梁形式を採用し、長辺方向に関しては、長大スパンの切梁架設を避け、相隣合った連続地中壁の間に大規模な斜め切梁を設置するという方法を選定した。

また、山留壁として厚さ1.2mという連続地中壁を使用しているため、一般の鋼製の腹起しでは、曲げ剛性が山留壁に比べて著しく低く、壁の変形を拘束という効果はほとんど期待できない。そのため、腹起しは省略し、切梁は間詰めコンクリート (コーベル) を介して直接山留壁に接するという形をとった。(詳細については、別掲論文“せん断伝達の一手法を用いた斜切梁受けの設計”

を参照のこと。)

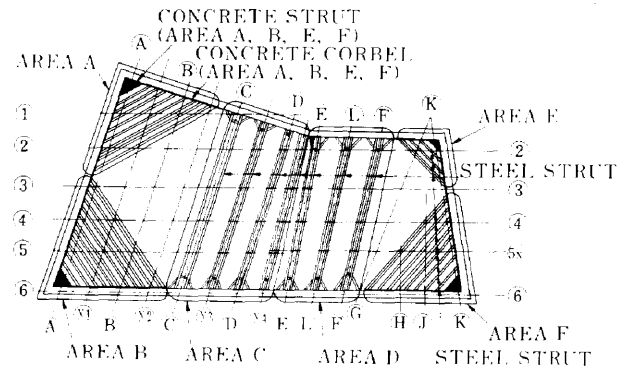


Fig.4 切梁配置平面図

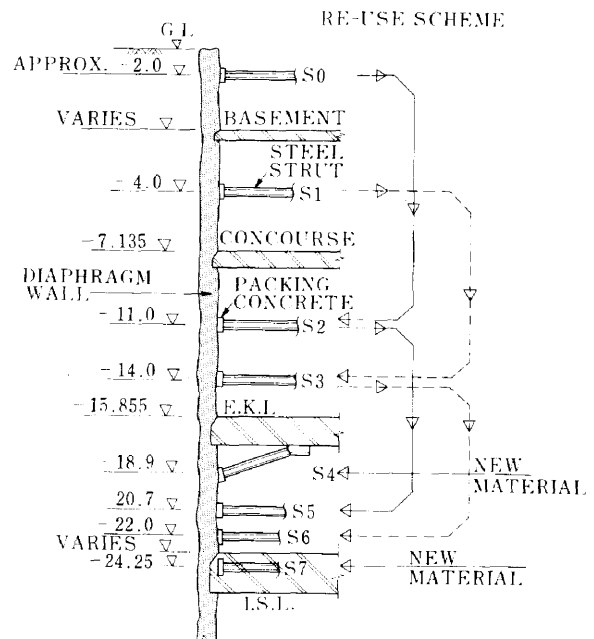


Fig.5 標準的切梁設置側面図

以上の配置に基づいた切梁一部材あたりの設計荷重は、Tables 2のようなものとなったが、同じ段においても切梁ごとにならざる荷重差が出るために、転用計画等を考えあわせて結局Tables 3のような4種類の極厚H鋼を主部材として使用することとした。

Table 2 切梁設計荷重

(単位: トン/部材)

段	S0	S1	S2	S3	S5	S6
直切梁 (Area C, D)	270	160	470	270	590	700
	160		340		410	
斜切斜 (Area A, B E, F)	200	220	370	440	530	
	160	180	300	370	450	

*S4とS7に関しては、形式が異なるため省略した。

Table 3 使用部材

部 材	断面積 (cm ²)	単位重量 (kg/m)
H-428×407×20×35	360.7	283
H-438×412×25×40	423.3	332
H-468×422×35×55	593.7	466
H-478×427×40×60	659.8	518

3-3 プレロード計画

(1) 計画プレロード量の設定

一般に、プレロードの目的として

- ① 切梁の弾性圧縮量を減じ、架構全体の剛性を高める。
- ② 支保工セット時における各種ジャイントのゆるみをなくする。

ということが主要目的であると考えられるが、これに対して今回の施工においては、

- i) 切梁のジョイントに継手効率の高い高力ボルト接合を適用したこと。
- ii) 腹起しをなくして、切梁と山留間に直接コンクリートを打設したこと。

等により、②の項目については、ほとんど考慮する必要がないと考えられ、①について集中的に検討を行った。

今回の切梁に要求された剛性及びプレロードは、前述のようになりに大きいものである。しかし、実際の切梁転用計画との関連からプレロード量を独自に調整することができると考え、以下の手順で規定プレロード量を調整し計画プレロード量を設定した。

- i) 逆巻工法であるため、スラブ打設後切梁を撤去して下段に再使用できる。
- ii) 従って、そうした場合上段の部材は下段の設計条件で決定され応力的にも剛性的にも余裕が生ずる。
- iii) 結果的に、転用前の部材は規定された以上の剛性をもった切梁となるため、規定プレロード量を切梁に与える必要はない。

以下に計画プレロード量の算定方法を示す。

原設計において規定されている荷重は

$$P = P_p + P_r \quad P: \text{最終荷重}$$

$$P_p: \text{プレロード荷重}$$

$$P_r: \text{プレロード時～最終時の荷重増分}$$

増分

よって、荷重増分による切梁の収縮量 δ_r は、原設計の規制値として次のように算出される。

$$\delta_a = \frac{P_r}{K_r} \quad K_r: \text{原設計で規定された圧縮剛性}$$

ところが、実際の切梁は、 K_r より大きい値 K_a を有する

ので、実際の収縮量は、

$$\delta_r = \frac{P_a}{K_a} \quad P_a: \text{プレロード時～最終時の荷重増分 (実}$$

施工時)

である。

ここで、 $\delta_a \leq \delta_r$ であればよいので、 $\delta_a = \delta_r$ から

$$P_a = P_r \times \frac{K_a}{K_r}$$

として、許容される荷重増分が求められる。

よって、実際に必要なプレロード量 P_{pa} は、

$$P_{pa} = P - P_a$$

$$= P - (P - P_p) \times \frac{K_a}{K_r}$$

とすることができる。

その結果、原設計において規定されたプレロード量を大幅に減ずることが可能となり、プレロードを必要としないという箇所も生じた。Tables 4に部材あたりの計画プレロード量を示す。

Table 4 計画プレロード荷重

段	S0	S1	S2	S3	S5	S6
直切梁	0		35		130	
	30		120		280	
斜切梁	—	—	0	—	0	0
			30		155	85

(単位：トン/部材)

(2) プレロード導入位置の決定

切梁スパン中央点にプレロード位置を設定すれば、両端にかかる荷重はほぼ均等となり望ましいのであるが、この方法によるとプレロード導入箇所において軸方向変位を許しながら、切梁本体と同一の剛性を持つ接合部が必要となり、施工的に非常に無理があるため、プレロード位置は端部に設定することにした。

ただし、この場合には、切梁の途中に設けられた中間支持点での摩擦による軸力伝達の損失が予想されたため、支持点のグリースアップ等を行いかつ、他端での軸力測定を実施しプレロード有効性の確認をするという方針をとった。

(3) プレロード導入方法の選定

今回の工事において、プレロード導入方法として初めてフラットジャッキを使用した。その選定理由の主なもの、従来一般的に使用されているユニバーサルジャッキの限界であった。即ち、今回問題となったのは、プレロード量そのものよりも最終荷重に対するジャッキ

の耐力であった。一般に使用されるユニバーサルジャッキの場合は、Tables 2にあるような荷重を許容する製品がなく特注品となるため非常に不経済であり、また、寸法・重量が大きくなり取扱いの点でも困難が生じるためにそれに代わる方法が必要であった。

そこでフラットジャッキの使用を検討し、以下のような理由で採用を決定した。

- ① 非常に薄型であるため、取扱いが容易である。
- ② 副部材をほとんど必要としない。
- ③ 今回の施工に対応するだけの容量を持ったものが、既製品として簡単に手に入る。
- ④ 圧力の伝達媒体がオイルに限定されず、最終的に固結してしまうレジンタイプの使用が可能で、ジャッキング後はその固結強度で大荷重に耐えることができ、完全に密閉するため固結レジンがクリープすることもない。
- ⑤ 総体的には、コストも、大ユニバーサルジャッキの全面的使用の場合に比して有利である。

使用方法としては、プレロード時には充填する液圧による最高の耐力、つまりジャッキとしての耐力までを考え、最大荷重時には充填したレジン材が固結した時の材料強度でもたせるという形である。

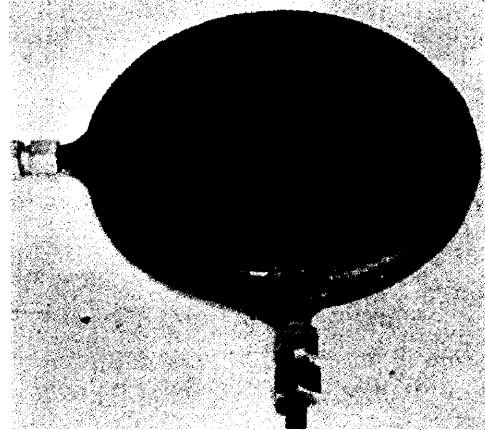


Photo 1 フラットジャッキ

Table 5 標準サイズ一覧表

Approx. Max. Force at 15N/mm ² (150Bars)	Ref. No.	Outside Diameter	Thickness and Max. Opening	Minimum Access Gap
Tonnes		mm	mm	mm
2	07	70	16	35
8	12	120	25	38
15	15	150	25	38
37.5	22	220	25	38
50	25	250	25	38
60	27	270	25	38
80	30	300	25	38
101	*35	350	25	38
160	*42	420	25	38
215	*48	480	25	38
346	*60	600	25	45
560	75	750	25	45
764	87	870	25	45
868	92	920	25	45

*印は、当工事に使用したもの。

§ 4. 施工と実績

4-1 使用機械・材料

(1) フラットジャッキ

形状をFig.6・Photo 1に、標準サイズ一覧表をTables 5に示す。

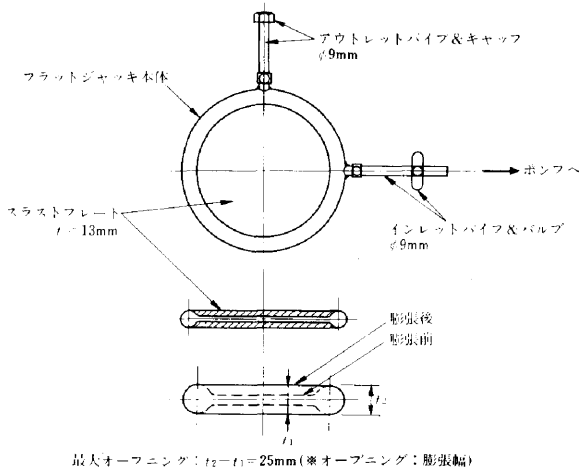


Fig.6 フラットジャッキ形状・寸法

フラットジャッキは、Fig.6に示すように周辺部にくぼみをつけた軟鋼製の薄い円板を2枚溶接してはり合わせた構造であり、外縁部から液体を注入し圧力をかけると薄板は互いに引き離され外部に力を与えるという仕組みになっている。

フラットジャッキ本体は非常に薄く、Tables 5に示すように、わずか45mmの間隙があれば設置が可能であるが、薄板の膨張幅（オープニングと称する）もまた同様に小さいので、大きな変形が見込まれる時には、2～3枚のジャッキを重ねて使用する。

なお、フラットジャッキの支圧面は注入圧の増加に従って変状するフラキシブルなものである。即ち、圧力によってオープニングの寸法が変化すると、それに伴って支圧面積が変化するという特徴を持っているため、実際にかかっている荷重を計算する時には、Fig.7に示すような換算曲線を用いる必要がある。

(2) レジンインジェクションポンプ

仕様をTables 6に示す。今回の施工においては、集中切梁を構成する2部材に同時にプレロードを与える必要

があり、接続はFig.8に示すようにポンプ1台にフラットジャッキ2台を配置した。

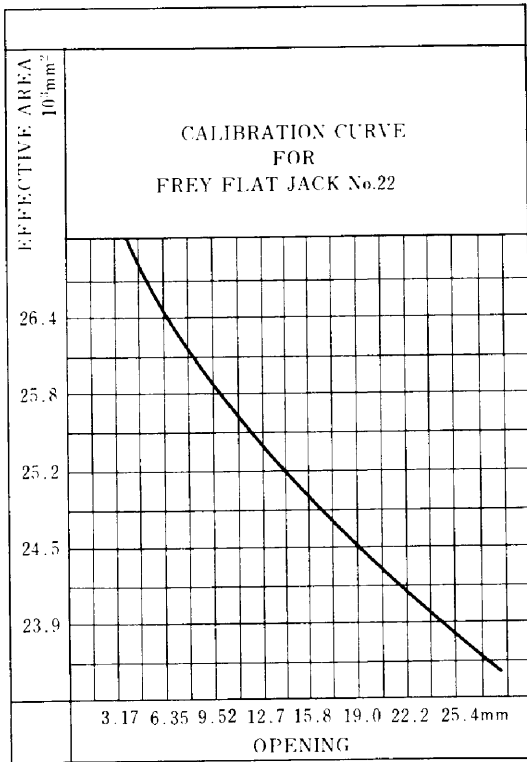


Fig.7 支圧面積換算曲線 (例. Ref. No.22の場合)

Table 6 ポンプ仕様

最大ピストン前面圧	20N/mm ² (200kgf/cm ²)
シリンダー型式	横型シリンダー油圧単動式
シリンダー内径	101.6mm
シリンダーストローク	450mm
ホッパー容量	3 ℓ
全長×幅×高さ	1,150mm×250mm×750mm

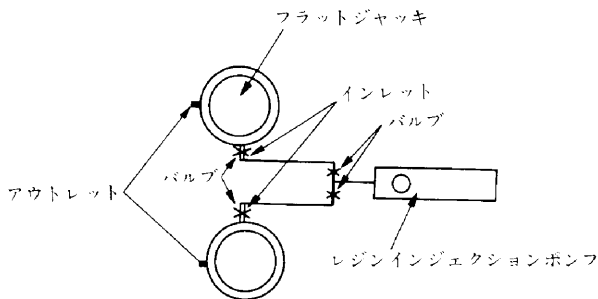


Fig.8 ジャッキ～ポンプ接続図

(3) エポキシレジン

前節にも述べたように、ジャッキの圧力伝達媒体とし

て短期間に固結する材料が必要とされ、オイルの代わりにエポキシレジンを使用した。使用材料は、CIBA-GEIGY社製Adaldite XH-130という2液混合タイプである。

一般にエポキシ系材料に共通した特性は、短期間の養生で高強度 (70~120N/mm²) が得られ、しかれ乾燥収縮が0.1~0.2%と非常に少ないことである。ただし養生温度が20℃未満の場合、所定の強度を得るために必要な養生期間が著しく延びる (Fig.9参照) という欠点があり、冬期での施工に対しては特に注意が必要である。

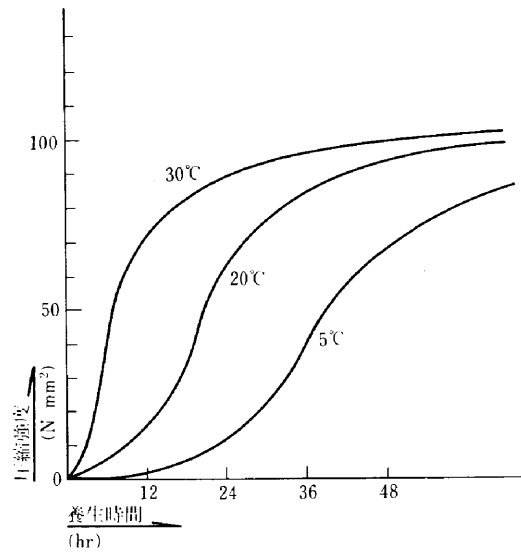


Fig.9 養生温度～圧縮強度 (A液：B液=2.5：1)

当地香港でも、冬期 (12月下旬～3月上旬) は5℃～15℃と気温が低く、プレローディング完了後なるべく早く次段掘削を開始するために、Tables 7に示すような混合比率を数次に渡る試験により決定し施工した。

Table 7 気温-混合比

養生温度	5℃	10℃	15℃	20℃	30℃
A液	1.25	1.50	1.75	2.0	2.5
B液	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
養生時間	36	36	36	24	12
圧縮強度 (N/mm ²)	> 50	> 60	> 70	> 70	> 70
※ポットライフ	60分	45分	45分	30分	30分

※2液混合後、ゲル化するまでの時間

なお、ポットライフ (2液混合後、ゲル化するまでの時間) については、温度、混合比率、容器の形状・寸法、混合量により各々異なるため一概に規定することは難しい。

レジンの使用量が減りコストダウンにつながった。

ただし、フラットジャッキ設置後の作業（コンクリート工、型枠工）による部材の破損の危険性が予想されたため、その点は特に注意して施工を行った。

また、フラットジャッキを切梁本体に取り付けるにあたり、基本的なことではあるが次の2点に留意した。

- ① レジン液注入時のエア抜きが完全になるようにアウトレットパイプを真上に設置すること。
- ② 切梁中心にフラットジャッキの中心を確実に設置すること。

Photo 2に施工状況を示す。



Photo 2 フラットジャッキによるプレローディング状況

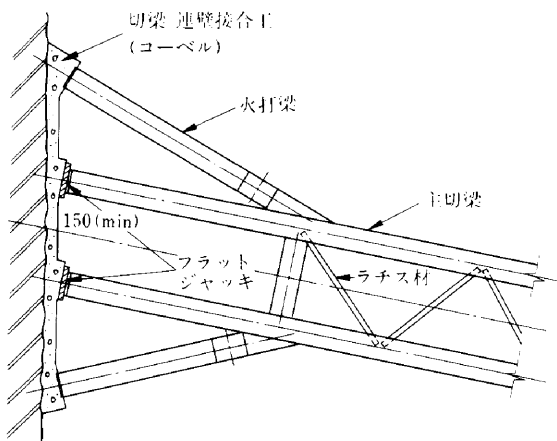


Fig.11 フラットジャッキ配置平面図

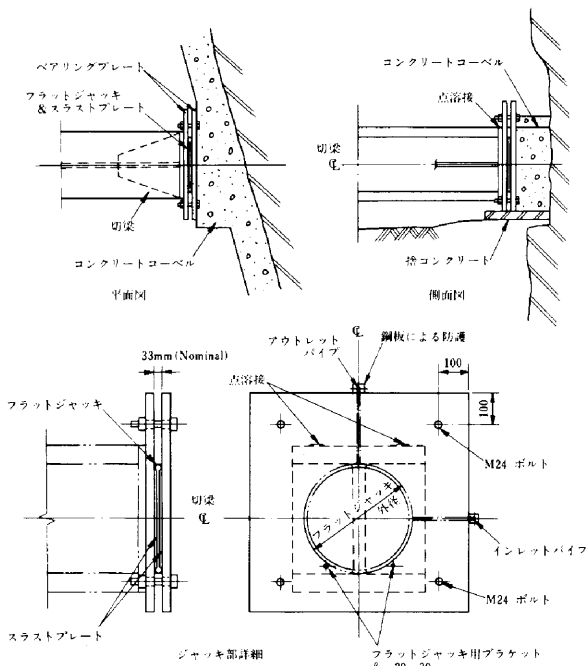


Fig.12 フラットジャッキ取付詳細図

4-4 施工管理

(1) プレロード前の留意点

- ① エポキシレジン液は2液混合後のポットライフが30分～45分と短いため、プレローディングの準備が完了したことを確認し2液の混合を開始する。また、施工時の気温が著しく20℃を下まわる時は、エポキシレジン液を混合前に余熱し初期温度を高める工夫をする。
- ② 間詰めコンクリート打設後、フラットジャッキ各部の機能が維持されていることを確認する。(特に、インレットパイプ&バルブ、アウトレットパイプ&キャップ等突出部が破損しやすい。)
- ③ 切梁ジョイント、ラチス材及びブラケット取付け部の確認を行う。

(2) 加圧手順

加圧手順は、Fig.13に示すとおりである。

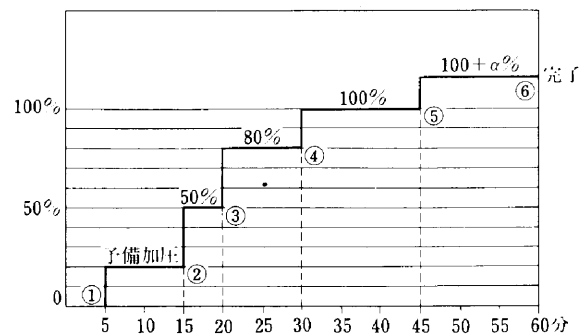


Fig.13 加圧手順

(3) プレロード時の計測管理

計測管理はTables 9に示すように8～10名の人員を配置し、計測開始・完了、加圧開始・完了等の合図は作業指揮者が統括し指令を出して、各サイクルごとに計測項目・計測方法に基づき管理値を確認し実施した。

Table 9 プレロード時の計測管理項目

計測項目	計測方法	人員 配置	※ ①	②	③	④	⑤	⑥
プレッシャーゲージ	ゲージ直読	1	○	○	○	○	○	○
フラットジャッキオープニング	ノギス	2	○	○	○	○	○	○
ジョイント部(ボルト・溶接部)の点検	目視	2	○	○	○	○	○	○
中間杭支持点の点検	目視	1	○	○	○	○	○	○
切梁の収縮	バイブレーション ストレインゲージ	2	○	○	○	○	○	○

※Fig.13の加圧ステージ番号

プレロード量の最終確認は次に示すように計画値と実測値との比較により行った。

$$P_d \leq P_{pg} = G \times A' \text{ かつ } P_d \leq P_{sg}$$

ここに、 P_d ：計画プレロード荷重

P_{pg} ：プレッシャーゲージの読みから算出したプレロード荷重

G ：プレッシャーゲージの読み

A' ：フラットジャッキの支圧面積 (Fig.7から)

P_{sg} ：ストレインゲージ測定値から算出された切梁軸力

当工事では、ストレインゲージをフラットジャッキ設置位置の他端部にもセットしプレロード効果についてチェックを行ったが、予想されたとおり切梁の中間支持点での摩擦による荷重伝達喪失のためプレロード導入位置の80~90%の軸力のみが有効に伝達されることが確認された。そのためFig.13に示すように最終段階として計画値+ α ($\alpha=10\sim15\%$) 加圧を行い、施工精度の向上に努めた。

§5. おわりに

フラットジャッキによるプレロード導入は、その大きな耐力と取扱いの容易さの点で、当工事のような大断面切梁用としては非常に有効と考えられる。ただし、今回はすべてのジャッキにレジンを充填したために、逆巻工法でありながらフラットジャッキそのもの下段への転用ができず、一度きりの使用となってしまった。しかし、荷重が比較的小さい場合にはオイルフィルにすることによって転用が可能となり、経済的な面で更に多くのメリットが生まれてくるはずである。

今回はプレロードのみの使用となったが、フラットジャッキの持つ特性を考えると、狭小な場所でのジャッキングに対して大いなる効果を発揮することは明らかであり、今後そのような場合に、本報告が少しでもお役に立てば幸いである。

最後に、計画から施工にいたるまで御指導いただきました関係各位に深く感謝の意を表する次第である。