

## 都市部における大断面トンネルの近接施工について CONSTRUCTION OF A LARGE TUNNEL ADJACENT TO AN EXISTING TUNNEL IN AN URBAN AREA

肥後満朗\*・寺内 伸\*・荒木田憲\*\*・篠崎秀敏\*\*\*・渡辺敏則\*\*\*\*

Mitsuaki HIGO, Shin TERAUCHI, Ken ARAKIDA, Hidetoshi SHINOZAKI and Toshinori WATANABE

A tunnel adjacent to an existing tunnel is being constructed under the supervision of the Japan Highway Public Corporation. The tunnel is 3-lane cross section and constructed in the urban area. The overburden is very shallow and on the surface a few houses and a road exist.

The report describes the behavior of the large tunnel adjacent to the existing tunnel, as well as the effect and the behavior of the RJFP (Rodin Jet Fore Pile) method in order to avoid subsidence of the ground surface and unpreferable effect to the existing tunnel caused by the new tunnel excavation.

Keyword: Rodin Jet Fore Pile, A tunnel adjacent to an existing tunnel, 3-lane tunnel, subsidence of the ground surface, NATM

### 1. はじめに

近年、都市部のトンネル工事においてNATMが適用されるようになり、特に土被りの薄いトンネルや構造物に近接したトンネル等では、トンネル自体の安定だけでなく、周辺環境への影響緩和を目的とした大規模な補助工法を採用するケースが増加している。しかし、それらの補助工法の効果や挙動は未だ十分に解明されておらず、工事の安全確保や経済性を追求する上で、これらを把握することが重要になってきている。

本工事は、日本道路公団が計画した道路拡幅工事の一環であり、3車線道路トンネルを重交通(63,000台/日・片側)で供用中のトンネルに近接して施工するものである。掘削断面が大きいだけでなく、土被りが薄く軟質な地山であることに加え、地表の一部には住宅や道路が存在するという、非常に厳しい条件下での工事である(図-1参照)。このため、施工にあたっては、各種計測工を実施するとともに、トンネル掘削時の地表沈下抑制や既設トンネルへの影響緩和等を目的として、高圧噴射攪拌工法(ロディンジェット、以下RJFPとする)等の補助工法を実施した。

本報文では、計測結果に基づき、主にRJFPの効果と挙動等について得られた知見を述べる。

\* 正会員 (株)間組土木本部設計第1部  
\*\* (株)間組土木本部設計第1部  
\*\*\* (株)間組横浜支店峰岡作業所

\*\*\*\* 日本道路公団東京第一建設局

2. 地質概要

本地区の地質は、第三紀～前期更新世の上総層群上星川層（泥岩）を基盤とし、前期更新世の相模層群屏風ヶ浦層（固結シルト）および関東ローム層（下末吉ローム、新期ローム）からなり、一部上部に腐食土層および埋土層が存在する。掘削の対象となる地質は主に屏風ヶ浦層で、その層厚は 10~18m、N 値は9~45（代表N値18）程度であり、一軸圧縮強度は5~8kgf/cm<sup>2</sup>である。図-2に地質縦断面図を、表-1に地山物性値を示す。

3. R J F P の概要

R J F P は、高圧噴射攪拌工法の一つであり、専用のボーリングマシンを用いてトンネル外周に改良体をアーチシェ尔状に構築し、地山を補強する長尺先受け工法である。R J F P の効果としては、地山の先行補強による先行変位の抑制および切羽の安定性の向上等が考えられる。本トンネルにおいては、これらの効果を期待し、地表沈下の抑制、既設トンネルへの影響緩和および新設トンネルの安定性の向上を目的としてR J F P を採用した。

図-3、表-2に、R J F P の施工配置図および施工仕様を示す。

4. R J F P の効果

4.1 先行変位抑制効果

本トンネルで実施されている各種計測工のうち、新設トンネル直上の地中沈下測定に着目し、切羽の進行に伴う地山変位状況を図-4に示す。これによると、先行変位（先行沈下）は切羽前方 0.5~1.0D（D：トンネル掘削幅=16m）付近から発生し、切羽到達時に主要な変位を生じ、切羽通過後 1.0~2.0D で収束している。土被り等にもよるが、一般的に地山変位は、前方2.0 D付近から生じ切羽通過後 2.0~3.0D で収束すること<sup>1)</sup>を考えると、本トンネルにおいてはR J F P による先行変位抑制効果が認められる。

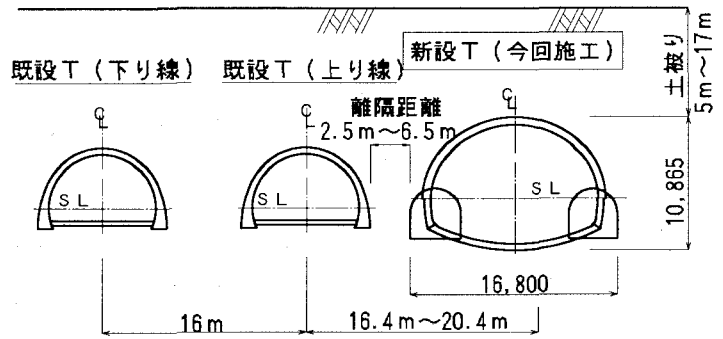


図-1 トンネル位置関係図

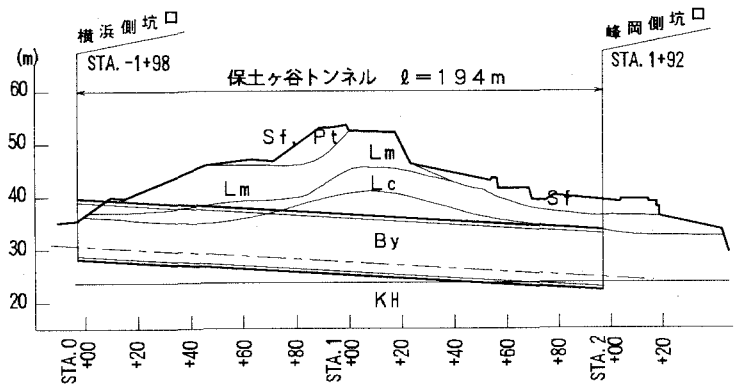
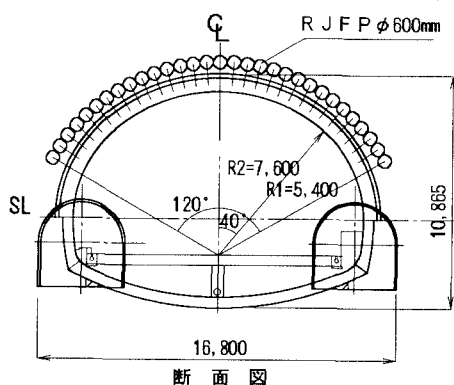


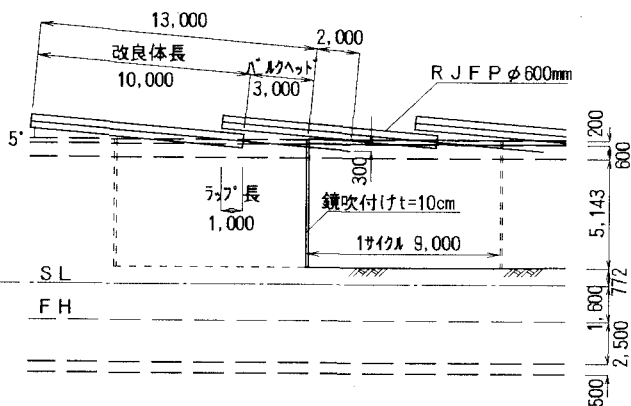
図-2 地質縦断面図

表-1 地山物性値一覧表

| 時代  | 層名            | 記号 | 土質                              | 単位体積重量<br>(t/m <sup>3</sup> ) | 変形係数<br>(kgf/cm <sup>2</sup> ) | 粘着力<br>(tf/m <sup>2</sup> ) | 内部摩擦角<br>(度) | N 値  | 備考             |
|-----|---------------|----|---------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|--------------|------|----------------|
| 完新世 | 埋土層           | Sf | 有機質土<br>砂質土                     | 1.4                           | 150                            | 3                           | 10           | 3    | ↑トンネル掘削対象<br>↓ |
| 更新世 | 腐植土層          | Pt | 黒ボク                             | 1.4                           | 150                            | 4                           | 5            | 4    |                |
| 更新世 | 新期ローム層        | Lm | ローム                             | 1.4                           | 200                            | 4                           | 5            | 4    |                |
| 更新世 | 下末吉ローム層       | Lc | 火山灰質粘土                          | 1.5                           | 250                            | 4                           | 5            | 4    |                |
| 更新世 | 相模層群<br>屏風ヶ浦層 | By | シルト<br>砂質シルト<br>砂混りシルト<br>細砂~砂礫 | 1.55                          | 2100                           | 20                          | 12           | 18   |                |
| 第三紀 | 上総層群<br>上星川層  | Kh | 泥岩<br>砂岩                        | 1.85                          | 3900                           | 140                         | 15           | 50以上 |                |



断面図



縦断面図

図-3 R J F P施工配置図

表-2 R J F P仕様

| 項 目      |      | 数 量                       |
|----------|------|---------------------------|
| 改 良 径    |      | φ 6 0 0 mm                |
| 削 孔 長    |      | 1 3 m                     |
| 造 成 長    |      | 1 0 m                     |
| 噴 射 圧    |      | 5 0 0 kgf/cm <sup>2</sup> |
| 噴 射 量    |      | 3 9 5 ℓ/m                 |
| (改良材料配合) | セメント | 7 0 0 kg                  |
|          | 混和剤  | 1 2 kg                    |
|          | 水    | 7 5 0 kg                  |

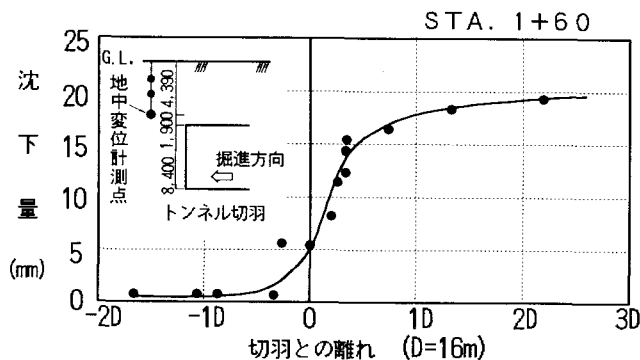


図-4 地中沈下量と切羽位置の関係

#### 4.2 地表沈下の抑制

図-5は、地表沈下量とH/D（土被り高さ／掘削幅）について整理した資料<sup>2)</sup>に本トンネルの計測データをプロットしたものである。本トンネルはH/Dが0.3~1.0と、土被りが小さく大断面のトンネルであるにもかかわらず、既報告の他のトンネルやR J F P実施トンネルと比較して小さな沈下量で収まっており、R J F Pの地表沈下抑制効果を示すものと考えられる。

#### 4.3 既設トンネルへの影響緩和

既設トンネルの断面規模や交通規制の問題から、既設覆工に直接計器を設置しその挙動を計測することが困難であったため、地表沈下や地中沈下等の既設トンネル周辺の地山挙動を計測することで、新設

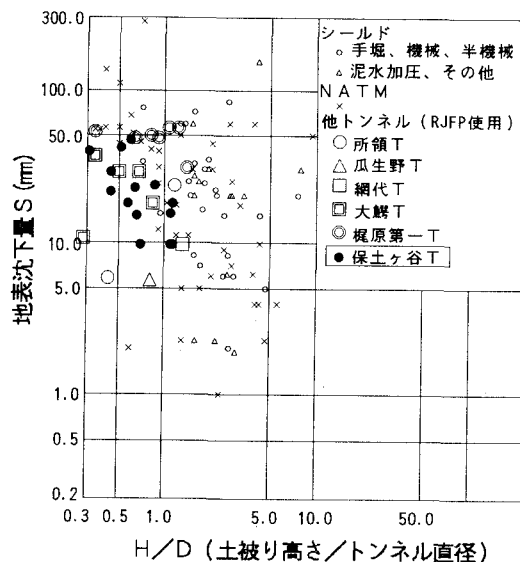


図-5 地表沈下量とH/Dの関係<sup>2)</sup>

トンネル掘削時の既設トンネルへの影響を評価した。代表的なトンネル横断方向の地表沈下および地中沈下分布を図-6に示す。新設トンネルにおいては、地表沈下、地中沈下とも約20mmの沈下量を示しているが、既設トンネル付近では、0.7~2.6mmと非常に小さな沈下量に収まっており既設トンネルへの影響は特に確認されなかった。また、このような変位の計測値をもとに逆解析を実施し、新設トンネル掘削時に既設覆工に発生していると思われる断面力を推定した(図-7参照)。これから、覆工に発生する最大引張応力は3kgf/cm<sup>2</sup>程度と、無筋コンクリートの許容値とほぼ同程度となり、既設覆工は安定しているものと判断した。

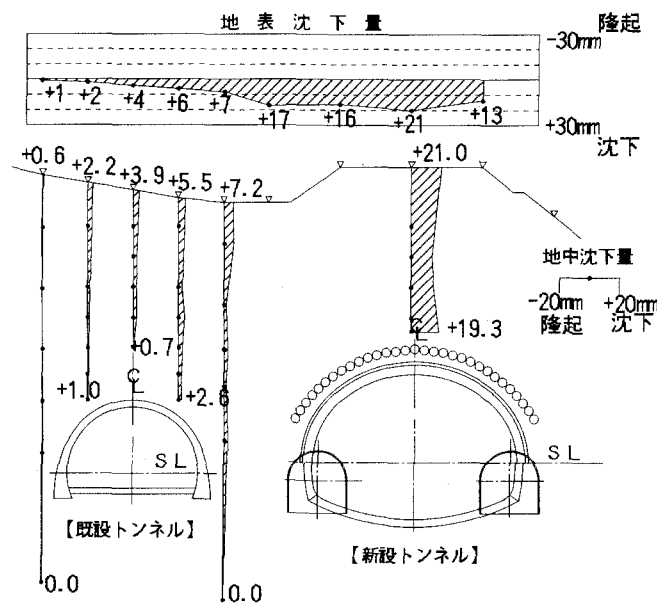


図-6 地表沈下および地中沈下分布図

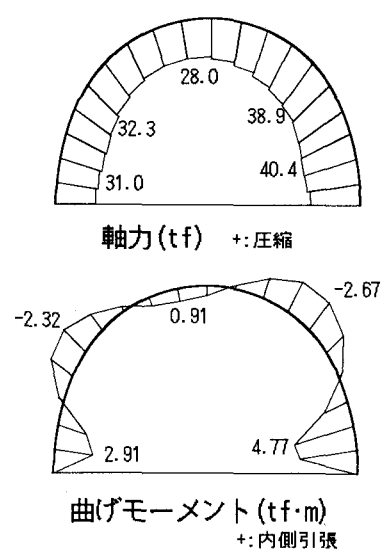


図-7 逆解析による既設覆工の推定断面力  
(覆工厚t=50cm, 新設T掘削時)

4.4 新設トンネルの安定

新設トンネルは、掘削断面が偏平で大きいにも関わらず、R J F P等の補助工法の採用により、鏡や天端の肌落ち、崩落等はなく、また、天端沈下や内空変位も10~20mm程度に収まり、十分安定した状態であった。鋼製支保工や吹付けコンクリートに発生した応力も許容値内であり、支保工の規模も妥当なものであると判断された。また、本トンネルの場合、地山がシルト層であり、R J F P副次的な効果として、改良体の硬化熱により切羽付近の地山の水分が蒸発し、切羽の安定性がかなり向上したことも見逃せない。

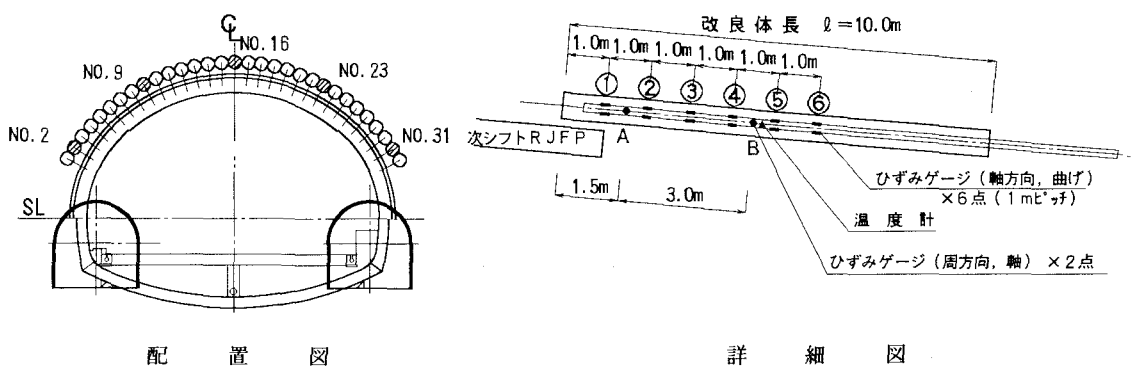


図-8 R J F P改良体ひずみ計測概要図

# 5. R J F P の挙動

トンネル掘削時の R J F P の挙動を把握するために、図-8 に示すように R J F P 改良体のトンネル断面方向（周方向）および軸方向のひずみ計測を実施した。それぞれの計測結果を、図-9、-10 に示す。また、代表的な改良体（No.23：トンネル右肩部）について、推定した改良体の変形係数をもとに周方向の軸力および軸方向の曲げモーメントを算定し、それらの値とトンネル切羽位置との関係を図-11、-12 に示す。

トンネル掘削時の R J F P の挙動については、次のような傾向が認められる。

## (1) 周方向の挙動

- ① A 測点、B 測点とも全体に圧縮ひずみが発生していることから、周方向の連続体としての挙動を示していると考えられる（図-9）。
- ② B 測点においては、切羽到達前にほとんど動きがないが、到達以後は顕著な挙動を示す（図-11）。
- ③ A 測点においては、切羽到達前に施工した次シフトの R J F P の影響を受けており、逆に切羽の到達以後は顕著な動きはない（図-11）。

## (2) 軸方向の挙動

- ① 全体的に曲げモーメントは小さく、また、トンネル内空側に引張を生ずる方向に発生する（図-10、-12）。

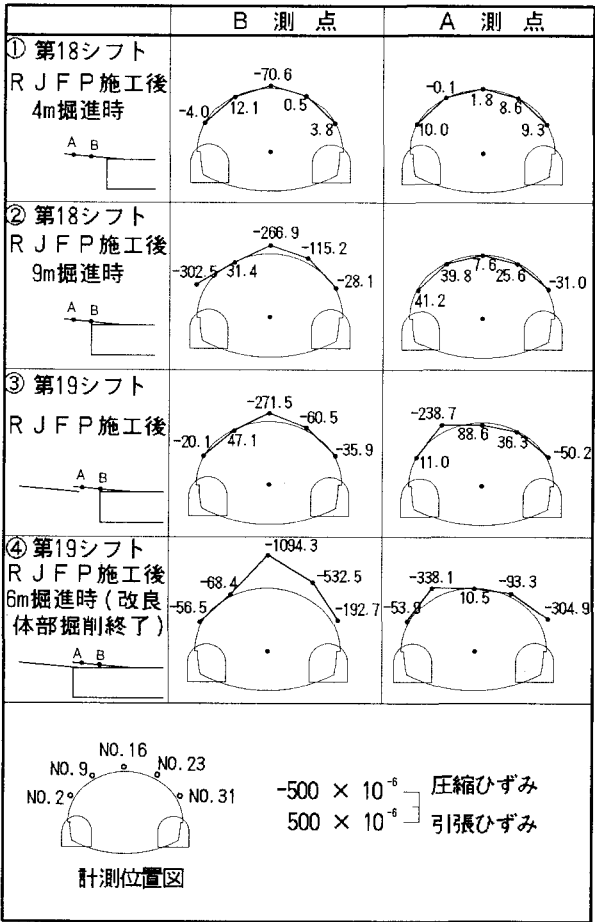


図-9 ひずみ分布図（周方向）

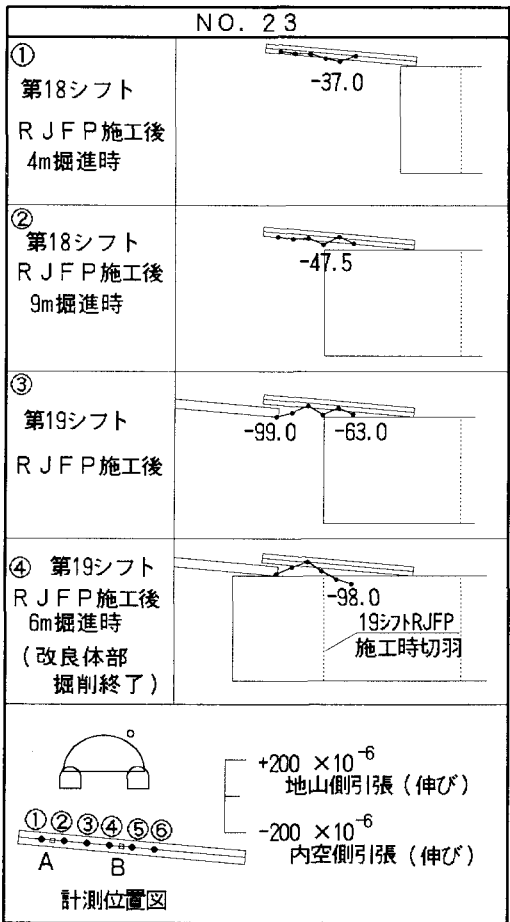


図-10 ひずみ分布図（軸方向）

- ② 測点によって若干の相違はあるものの、切羽到達以前 3~5m 付近より曲げモーメントが発生し、切羽到達後もあまり大きな変化はない（図-12）。
- ③ 切羽到達直後に、一旦曲げモーメントが減少するが、その後は再び若干増加傾向を示し収束する（図-12）。
- ④ 次シフトの R J F P に近い測点では、その影響による曲げモーメントが発生している（図-12）。

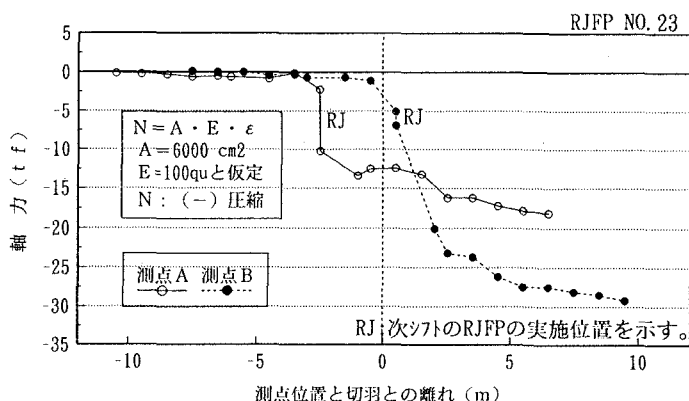


図-11 周方向の軸力と切羽位置の関係

## 6. まとめ

今回の R J F P の施工および計測より、次の知見を得た。

- (1) R J F P の効果について
- ① R J F P の持つ先行変位抑制効果が確認された。
- ② これにより、本トンネルのような軟質な地山を対象とした大断面トンネルにおいても、R J F P は地表沈下の抑制や近接構造物への影響緩和およびトンネルの安定性の向上に十分効果があることが判明した。

### (2) R J F P の挙動について

- ① R J F P は、特に切羽との位置関係において、周方向と軸方向でかなり異なった挙動を示す。
- ② 周方向については、切羽の到達前はあまり動きはなく、到達後に連続体として顕著な挙動を示す。
- ③ 軸方向については、切羽到達前 3~5m 付近より動きがあり、切羽到達前後であまり顕著な差がない。
- ④ 両方向とも、R J F P 先端部では次シフトの R J F P の影響を受ける。

## 7. 参考文献

- 1) 例えば、桜井春輔・足立紀尚：都市トンネルにおける NATM，鹿島出版会 など
- 2) ジェオフロンテ研究会：R J F P 工法に関する検討報告書，1992. 11（図-5 は、一部加工）

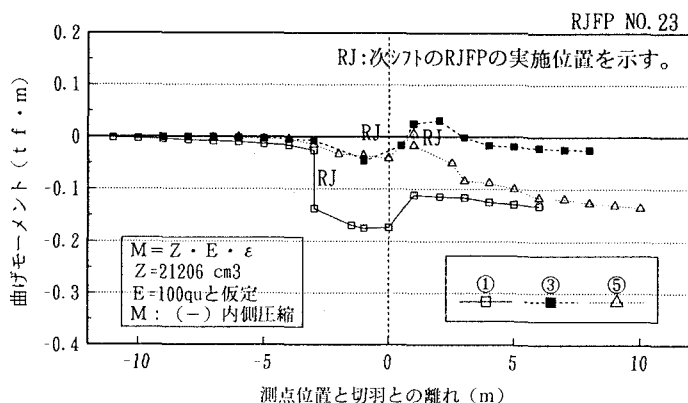


図-12 軸方向の曲げモーメントと切羽位置の関係