

分岐器軌道の一括移動（回転・横引き）

松井修治・板野次雅

〔京急蒲田駅付近連続立体交差事業〕では本設構造物の構築に先立ち、環状8号線と京急本線の交差部で上り線の仮設高架上への切替工事が実施された。京急蒲田駅構内においても軌道線形の変更に伴い、横浜方の3基の特殊分岐器の移設が必要とされたが、用地確保の問題から予め仮線を設置しておくことは不可能であった。

このような条件の下、特殊分岐器を載せた工事桁（以下、分岐桁と称する）の回転・横引き移動工法を開発し、桁の変形抑制や、切替時間の制約等、厳しい条件下での施工となったが、分岐器を計画通り移設でき、無事に切替工事を完了した。

ここでは、分岐桁の構造と制御方法・一括移動の実績について述べる。

キーワード：分岐桁、特殊分岐器、センターホールジャッキ、回転、横引き

1. はじめに

特殊分岐器を移設するに当たって、限られた時間と場所での作業を可能とするため、工事桁で特殊分岐器を仮受けした分岐桁と呼ぶ構造を考案し、短時間で分岐器軌道を一括移動することに成功した。

軌道の中でも特に特殊分岐器はデリケートである。今回の対象となる特殊分岐器はシングルスリップスイッチと呼ばれる片渡り付交差であり、ダイヤモンド・クロッシングに渡り線を一本追加することで、交差する線路の一方への分岐を可能としたものであり、都市部の狭隘な駅にのみ一部設置されている珍しい分岐器である。

2. 特殊分岐器移設の概要

環状8号線の仮上り線高架切替に伴い、工事始点の京急蒲田駅南側では特殊分岐器を移設する必要があるが、従来の方法では一晩のうちにそれを移設するのは非常に困難と予想された。このような困難な切替工事を可能とするために考えられたのが分岐桁である（図1）。

分岐桁とは特殊分岐器を載せた、長さ約60m、幅約10m、総重量約710t（バラスト重量含む）の有道床工事桁である（図2、3）。横引き移動用の横桁（H-588×300）の上に上下フランジを鉄板で連結した縦桁（H-400×400）を載せ、支間は2m～6m×13

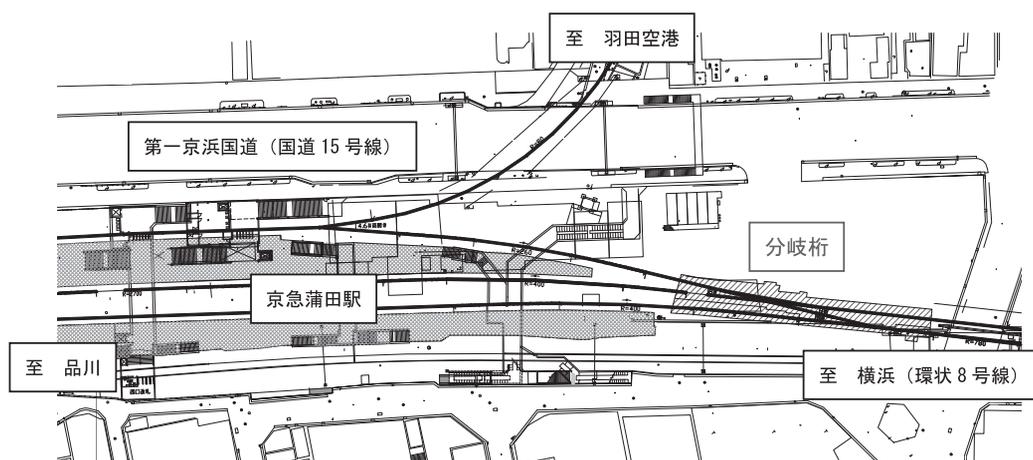
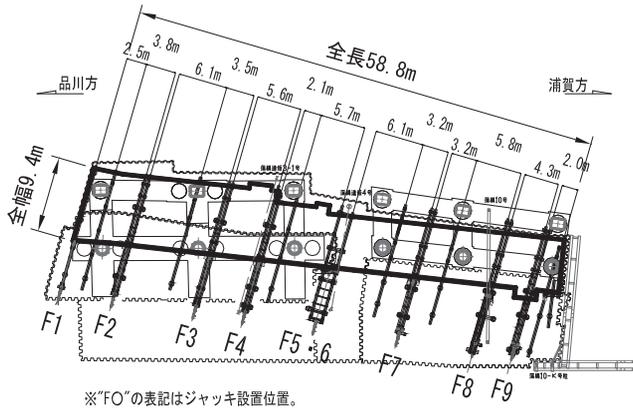
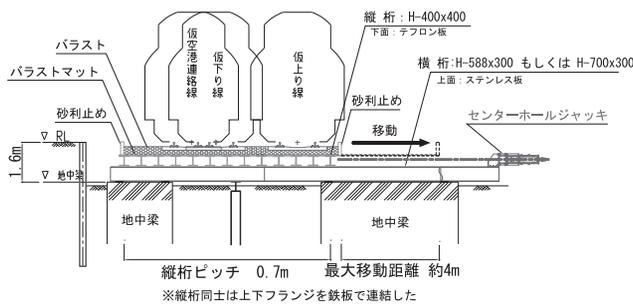


図1 分岐桁位置図



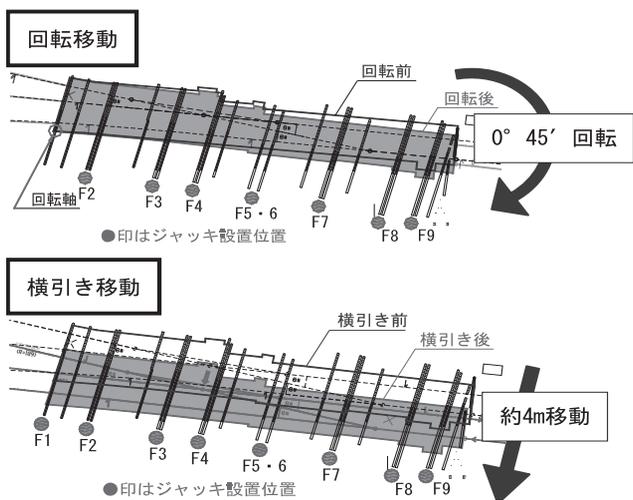
図一 2 分岐桁平面図



図一 3 分岐桁断面図

スパンの鋼製の連続桁構造となっている。

分岐桁による特殊分岐器の一括移動では、特殊分岐器を載せたまま、水平に配置したセンターホールジャッキ8台を連動させることにより、時計方向に0°45′回転、軌道直角方向に約4m横引き移動させることができた(図一4)。



図一 4 一括移動概要

3. 環状8号線付近仮上り線高架切替に伴う特殊分岐器移設の問題点

環状8号線の仮上り線高架切替に伴い、上り線は下り線、空港連絡線と特殊分岐器で繋がっているため、特殊分岐器ごと線路移設する必要があったが、以下の問題点が挙げられた。

- ①用地が狭隘なため、分岐器を新設→切替→既設を撤去する一般的な方法は不可能。
- ②人力による移設は特殊分岐器がシングルスリップ付であり、移設後のポイント密着性、分岐構成材料が脆弱であること、また作業時間等の観点から不可能。
- ③線路移設後の計画線形から、分岐器の回転(0°45′)と移動(約4m)を行う必要がある。
- ④分岐器の移動に求められる許容変形量(直線性)は10mあたりで2mm以内である。
- ⑤移設後の軌道直下で、高架橋の地中梁構築が施工できる構造でなければならない。

上記の問題点を解決するため、仮線線形の見直しも含めて再検討した結果、分岐器を一括して仮受けし、ジャッキを使用して回転・横引きを行う分岐桁を設置することが最良と判断し、これにより切替作業を行うこととした。特殊分岐器はその形状保持が非常に重要な設備であることから工事桁に分岐器を載せるという構造はそれまで例がなかった。

また、軌道構造は分岐桁の鉄骨のひずみが直接、分岐器に伝播しないよう、有道床構造とする方針とした。(後述するが、結果的に軌道の勾配変更が可能となった。)

4. 分岐桁設計施工上の課題と対策

分岐桁を設計するにあたり、いくつかの課題が挙げられた。以下に、その課題と対策を示す。

- ①分岐桁のたわみを2mm以内に抑える。
一般的な工事桁のたわみの許容値¹⁾はL/800(L:スパン(m), 0<L<50)で表され、今回のケースで考えると約8mmとなる。しかし、分岐桁は特殊分岐器を擁しており、その平面性の保持という観点から2mmという許容値を定めた。

縦桁のたわみについてはジャッキ設置予定の8本の横桁(施工上の問題からスパンはばらばらであるが、最大でも10m程度としたかった。)に加え、5本の補助横桁を配置することにより許容値を満足した。横桁については設計計算により、支持杭のピッチを4.5m以下に抑えた。また、横桁の配置上、地中梁と重な

る部分については地中梁の構造に支障を及ぼさないよう、横桁と地中梁の間にエポキシ樹脂を充填して支持する工法とした。

②分岐桁の変形量（直線性）を10mあたりで2mm以内に抑える。

分岐桁を移動させることにより特殊分岐器のポイント転換の密着性を損なわないよう、分岐桁の変形許容量を列車走行安全性と施工精度から10mあたりで2mmと定めた。

構造面の対策として、出来るだけ剛性を持たせたいという観点から、縦桁の上フランジ同士および下フランジ同士を鉄板で連結し、ボックス状の構造とした。また、分岐桁の構造解析を行い変形挙動の把握を行った（図-5）。

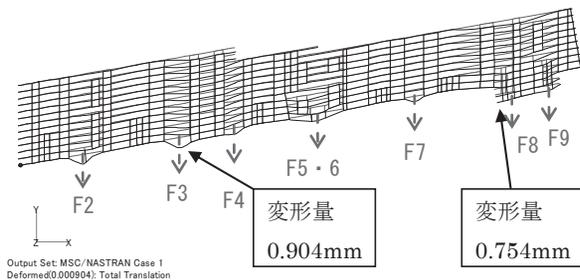


図-5 構造解析結果（中間支点移動直前）

構造解析は、縦桁をビーム要素、鉄板をシェル要素としてモデル化を行った。横引き時はジャッキ設置箇所がまず動き始め、ジャッキの設置されていない補助横桁部（中間支点部）が最後に動き出すと考えられる。この中間支点部が動き出す直前までの間が分岐桁にとって厳しい状態と考えられるため、中間支点部を固定とし、ジャッキ設置箇所に予め算出した横引き力を作用させ、計算を行った。

施工面の対策として、8台のジャッキを連動させ、引張り量のバラつきを無くすような制御システムを導入することにした。

③環状8号線付近仮上り線高架化に向け、軌道の勾配

変更が可能な構造とする。

軌道を高架の方向に向けるため、分岐桁の施工中に軌道の勾配変更（6.6%→9.0%）が計画された。軌道構造は前述したように鉄骨のひずみの問題から有道床構造とする方針であったため、勾配変更には対応可能であった。しかし、通常、鋼桁上に枕木・レールが載るだけの工事桁の構造に比べ大幅な重量の増加（バラストだけで約380t）となった。

もともと、横桁配置の都合上、ジャッキを8台使用する予定であったことと、摩擦係数として0.1を想定していたことから、滑り支承の整備とジャッキ8台を連動させることで対応可能であると判断した。

④実質の移動時間を50分以内に収める。

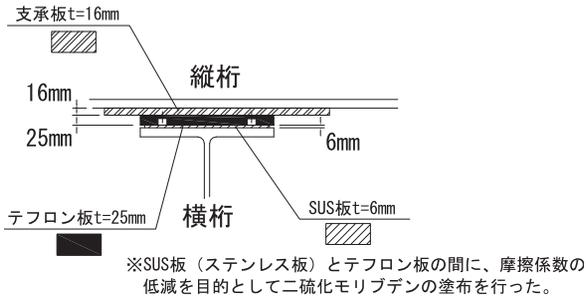
営業線終了後から始発までの約4時間の中で軌道・電力・通信・ホーム移設等の他工種の作業時間も考慮すると、実質の移動に使用できる時間は50分となった（表-1）。この50分の中で確実に分岐桁の移動を完了させるために、当初は1回で移動させる予定であったところを回転移動と横引き移動の2回に分けて実施することにした。また、連動させる8台のジャッキについても、盛替え頻度、ストローク、負荷能力などそれぞれ特性の異なる機種を比較検討して、選定することにした。

⑤分岐桁の一部架設開始から一括移動までの期間が2年余りある中で、滑り支承の摩擦係数を確保する。

分岐桁の構築は仮線の切替に合わせて3回に分けて行われるため、施工期間は2年余りに及ぶことが予想された。これにより、2年以上を経過した滑り支承の摩擦係数（想定0.1）が確保されるのかが懸念された。滑り支承は縦桁側にテフロン板、横桁側にステンレス板を配置し、その間には摩擦係数低減のために二硫化モリブデンが塗布されていたが、万一のことを考え、高架切替前に線路閉鎖時間を利用して縦桁をジャッキアップし、縁切りおよび二硫化モリブデンの再塗布作業を実施した（図-6）。

表-1 各工種作業時間表

工種	時間	20	21	22	23	0	1	2	3	4	5	6	
終車・始発		●					●					●	
<線路閉鎖>						0:30	—————					4:30	
<軌電停止>						0:40	—————					3:45	
軌道						—	—	—	—	—			
電力						—	—	—	—	—			
信号							—	—	—	—	—	—	
通信							—	—	—	—	—	—	
土木(分岐桁)							—	—	—	—	—	—	
土木(ホーム移設)							—	—	—	—	—	—	



図一六 滑り支承断面図

5. 実験工事概要

ジャッキ連動性と所要時間等を確認するため、現場から離れた実験施設で実物大モデルによる実験工事を実施し、事前確認を行った（写真一1）。

実験工事に用いるジャッキは実施工に用いるものと同じ仕様とし、センターホールジャッキ2機種、ダブルツインジャッキ1機種の合計3機種を比較検討して機種選定を行うこととした。（制御方法はセンターホールジャッキ、ダブルツインジャッキそれぞれに異なり2種類となった。後述する。）

実験桁は分岐桁とほぼ同じサイズ、重量としたが、剛性については分岐桁よりも低く計画した。8台のジャッキの連動時に発生する微小な変位差を、実験桁の変形量（直線性）に明確に反映させ、確実な連動設定を導き出すためであった。

こうして実施された回転移動および横引き移動の実験工事の結果、センターホールジャッキ（ストローク500 mm、負荷能力500 kN、写真一2）を使用するこ



写真一1 分岐桁実物大モデル 全景



写真一2 センターホールジャッキ

とにより、所定の条件（変形量、時間）を満足して施工可能と判断した。

6. ジャッキ連動制御の概要

(1) ワイヤー式リニアエンコーダーの配置と役割

ジャッキの連動制御にあたり、各ジャッキの変位（桁の変位）測定には精度0.1 mmのワイヤー式リニアエンコーダーを採用した。このリニアエンコーダーの変位データおよび各ジャッキのロードセルによる荷重データは集中操作室に送られ、制御誤差および荷重・変位リミッタの設定などの操作と合わせて一括管理できるシステムとした。

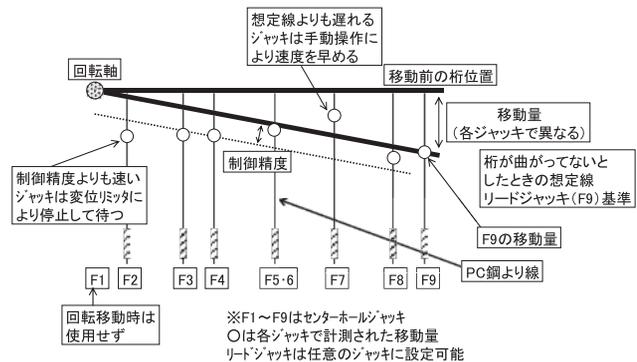
また、ワイヤー式リニアエンコーダーは8台のジャッキそれぞれに加えて、各ジャッキ間にある補助横桁の部分にも配置され、より緻密な桁の変形量（直線性）の監視を行った。

ワイヤー式リニアエンコーダーで取得した変位データは制御システム上で監視・演算され、8台のジャッキの連動制御の根幹として使用された。

(2) センターホールジャッキ制御の概要

回転移動にはセンターホールジャッキの制御方法が適していると判断され、採用された。

回転移動の場合は各ジャッキの最終的な移動量が異なるため、ジャッキ毎に最終移動量の設定を行い、そのうち1台をリードジャッキとした。図一7に示すように、リードジャッキ（F9）の移動量と回転軸を結んだ想定線上に各ジャッキが並んでいる状況をワイヤー式リニアエンコーダーで計測し、想定線から所定の制御精度分以上ジャッキが進んだ場合は停止するという制御方法である。したがって、制御される側のジャッキは停止と動作を繰り返す断続的な動き（脈動）となるが、リードジャッキのみは常に一定の速度で動き続ける。ただし、この制御方法ではリードジャッキ



図一七 センターホールジャッキ制御概要図

より遅いジャッキはいつまでもリードジャッキには追いつけず、制御の枠から外れてしまう。桁全体での荷重の分担率、摩擦、機械の個性などさまざまな要素が絡み合い、遅いジャッキはその都度変化して特定できない。したがって、集中操作室で各ジャッキの動きを見ながら、どれが遅いか判断し、そのジャッキの速度（周波数）については手動で早めてやる方法を取った。実際は、リードジャッキの周波数を、他のジャッキより5 Hz 程度遅く設定して、手動の入る余地を出来るだけ減らすよう努めた。

この制御方法では非常に精度の高い結果が得られたが、制御に演算を要することと、各ジャッキが高い頻度で脈動するため移動に要する時間が若干長めであった。

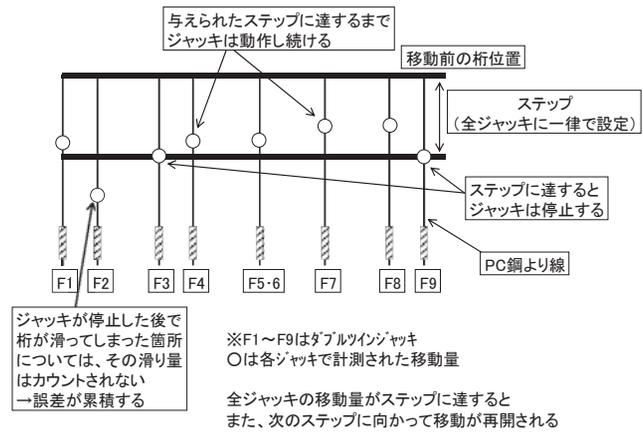
(3) ダブルツインジャッキ制御の概要

ダブルツインジャッキは名前の通り、上下2本と左右2本の計4本のジャッキで構成されている（写真—3）。上下2本のジャッキがPC鋼より線をチャッキングし、伸びの動作を行っている間に左右2本のジャッキが戻りの動作を行うもので、上下、左右のジャッキを交互に使って連続的に（盛替え時間無しに）、引き込み作業を行うことが出来る。横引き移動では4mもの移動を行わなければならなかったため、施工に要する時間の問題からダブルツインジャッキの使用も想定し、センターホールジャッキとの比較検討を行った。



写真—3 ダブルツインジャッキ概要

ダブルツインジャッキの制御方法は図—8に示すステップ方式によるもので、1回目のステップ開始でジャッキは一斉に動き出し、与えた数値分（例えば1 mm）の移動を行う。全てのジャッキが与えられた数値分の移動を終了（ステップ到達）すると、また一斉に次のステップの移動が開始される。ただし、センターホールジャッキの場合は一つの基準に対して各々のジャッキの誤差を判断したが、ダブルツインジャッキは各々のジャッキが独立して移動量を判断するため、万一、ジャッキ停止中に桁が滑ってしまった場合



図—8 ダブルツインジャッキ制御概要

はその変位は考慮されず、誤差が累積してしまう可能性がある。

この制御方法ではセンターホールジャッキに比べて圧倒的に所要時間が少なくなったが、やはり誤差は大きくなってしまいう傾向がみられた。

(4) 採用に当たって

移動完了時の変形量については、制御方法よりも、桁の逸走防止のストッパーの設置精度で対処可能であったため、ジャッキの選定については移動中の変形量抑制と所要時間の短縮の2点に焦点が絞られたが、どちらの制御方式も一長一短であった。

しかしながら、今回の目的は分岐器軌道の一括移動であること、特殊分岐器はその形状保持が非常に厳しく、転換不良となれば翌朝の鉄道線の営業に大きく支障することから、移動中の変形量抑制に主眼を置くこととなり、回転移動・横引き移動ともにセンターホールジャッキを採用することとなった。

7. 回転移動実績 (0° 45' 回転, 最大移動量 800 mm)

回転移動による切替工事は、環状8号線付近仮上り線高架切替工事前切替として2008年3月22日に実施された。土木・軌道・電力・信号・通信・運転あわせて総勢420名で臨んだ。

その結果、回転移動そのものに要した時間は8分で、無事に始発列車を迎えることが出来た。分岐桁の桁変形量（直線性）も移動中0.8 mm、移動完了後0.6 mmと非常に精度の良い結果となり、予定移動時間の10分と桁変形量の許容値である移動中6 mm、移動完了後2 mmを満足した。滑り支承の摩擦係数は当初想定(0.1)を下回る0.08であり、計画通りに施工を進めることが出来た（表—2）。

表一 2 実験結果・施工実績一覧

項目	単位	回転移動			横取移動		
		計画	実験工事	施工実績	計画	実験工事	施工実績
使用ジャッキ		SLP-5050			SLP-5050		
型番		センターホールジャッキ			センターホールジャッキ		
ジャッキ形式		500 kN			500 kN		
負荷能力		500 mm			500 mm		
ストローク		10.00	10.78	8.25	30.00	41.40	36.29
移動時間(盛替え含む)	min	7.36	6.83	9.7	13.32	9.65	11.0
移動速度(盛替え含む)	cm/min	769	769	656	769	769	716
予想横取力	kN	769	588	552	769	908	517
実横取力(最大値)	kN	0.1	0.08	0.08	0.1	0.13	0.07
摩擦係数		6.0	1.3	0.8	6.0	2.2	2.3
移動中 桁変形量	mm	2.0	1.0	0.6	2.0	1.1	1.2
移動完了後 桁変形量	mm						

※予想横取力=桁総重量×1.1(安全率)×0.1(計画摩擦係数)
 ※**太字**: 計画値を満足した数値

8. 横引き移動実績 (3,994 mm 平行移動)

2008年5月17日の横引き移動は、環状8号線付近仮上り線高架切替工事として総勢850人を動員して実施された。

横引き移動そのものは36分を費やして移動を完了した。このとき、分岐桁の移動を妨げないようにレールの切断・復旧を行った。切断・復旧箇所は分岐桁の起終点側合わせて5箇所に及んだ(上り線×2箇所、下り線×2箇所、連絡線×1箇所)。

分岐桁の桁変形量は、移動中で2.3mm(許容値6mm)、移動完了後で1.2mm(許容値2mm)となり、許容値を満足することが出来た。

事前切替および本切替工事とも、時間内に無事に作業を終了することが出来た(写真一4, 5)。

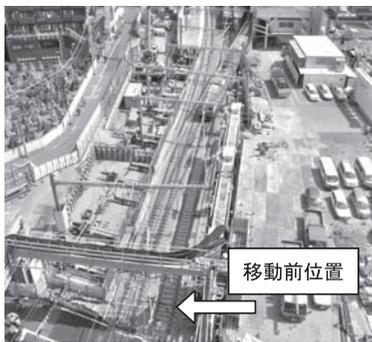
9. 総括

特殊分岐器を限られた用地内で、限られた時間内で切替えなければならないという厳しい条件の下、一般的なやり方にとられない斬新な工法により、短時間で非常に精度よく回転・横引きし、無事成功を取めることが出来た。

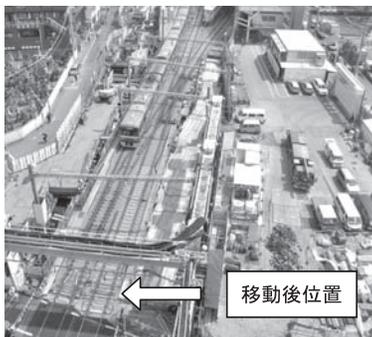
事前に実験工事を計画し、様々なパラメーターの下で評価を行えたということは、この成功の大きな要因である。

このような斬新な計画を行い、施工できたことについて、ご指導いただいた京急電鉄様をはじめ、関係各所の方々に改めて感謝するとともに、今後の切替え作業の参考としていただけたら幸いである。

JICMA



写真一 4 分岐桁移動前



写真一 5 分岐桁移動後

《参考文献》

- 1) 京浜急行電鉄株式会社; 設計仕様書, 平成14年3月.

[筆者紹介]

松井 修治 (まつい しゅうじ)
 鹿島建設㈱
 第一土木統括事務所
 蒲田工事事務所
 工事課長



板野 次雅 (いたの つぐまさ)
 鹿島建設㈱
 第一土木統括事務所
 蒲田工事事務所
 工事係

