

Ⅲ－59

発破工法を用いた大口径深礎杭の施工

東日本旅客鉄道(株) 東北工事事務所 正会員 ○福島 啓之
東日本旅客鉄道(株) 東北工事事務所 牧野 良弘

1. はじめに

本工事では、杭長 19m、径 8.5m の大口径深礎杭を営業線近接箇所において 2 基施工するものである。杭先端 6m がひん岩掘削となり発破工法で計画しているが、営業線近接での発破作業は軌道への発破振動の影響が懸念される。そのため、より精度の高い振動速度予測値を得るために岩盤状態の確認と振動速度測定を目的とした試験発破を行なった。本稿では、試験発破に向けた検討内容と試験結果について報告する。線路平面図を図 1 に示す。

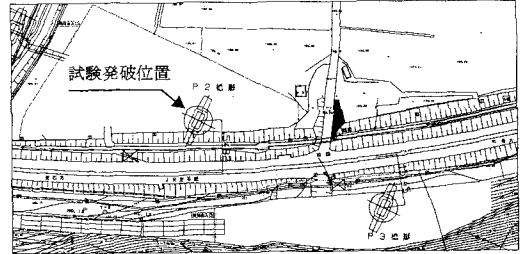


図 1 線路平面図

2. 発破工法

1) 概 要

深礎工の掘削は機械による掘削が一般的であるが、岩盤等では機械施工が困難となり、発破工法に頼らざるを得ない状況がある。発破振動は地震に比べて影響範囲が狭く、発生エネルギーが小さいが、営業線近接箇所での発破作業となるため発破振動の影響を最小限に抑えることが重要である。

2) 地質条件

地層構成は上位から表土 0.6m、礫混じり砂質シルト層 1.0m、粘土混じり砂礫層 8.6m、ひん岩層 6.8m となっている。ひん岩は非常に硬質であり、GL-4.0m 以深は N 値 50 以上となり支持地盤として十分期待できる地質である。

3) 振動予測値の検討

発破振動が構造物に与える影響については(1)式を用いて算出した。この式の係数である K 値は岩盤の特性や発破条件により変化する値であるため、設定する値により発破振動が大きく変化する。本検討では深礎発破を 1 自由面のトンネル発破振動推定式を用いて、K 値にトンネル発破の平均的な値を用いた。続いて発破振動の管理値については、地震時の運転規制基準値である 3kine とトンネル状態を示す健全度判断区分に対応する規制値の 2kine を比較し、安全側の値である 2kine と設定した。この管理値を基に許容装薬量を算出し許容装薬量以下になるように、電気雷管の数を増やし 1 段当たりの装薬量を少なくする発破パターンとした。その結果、発破振動が様々な要因で変化する値である点を考慮し、振動管理値 2kine よりも相当小さい振動速度予測値を算出し、安全率は 3 倍以上となった。発破パターンを図 2 に、使用装薬量と振動速度予測値を表 1 に示す。JR 線からの離れを図 3 に示す。

$$V = K \cdot W^m \cdot D^n \quad \dots \dots (1) \text{ 式}$$

V: 変位速度 (kine)
K: 岩盤条件や発破条件により変化する係数
(芯抜き発破: 600 払い発破: 400)
W: 雷管の段当たり装薬量 (kg)
D: 発破中心から対象物までの距離 (m)
m: 装薬指数 (=0.75)
n: 距離減衰指数 (=2)

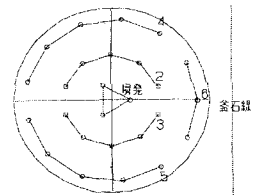


図 2 発破パターン図

表 1 使用装薬量と振動速度予測値

電気雷管 段数	振動速度 管理値 V (kine)	K 値	距離 D (m)	装薬指数 m	距離減 衰指数 n	許容装薬量 W (kg)	装薬量 (kg)	振動速度 予測値 (kine)
瞬発	2.0	600	26.4	0.75	-2	3.1	0.6	0.59
DS2段	2.0	400	25.8	0.75	-2	5.0	1.0	0.60
DS3段	2.0	400	25.8	0.75	-2	5.0	1.0	0.60
DS4段	2.0	400	25.7	0.75	-2	4.9	1.0	0.61
DS5段	2.0	400	25.7	0.75	-2	4.9	1.0	0.61
DS6段	2.0	400	24.9	0.75	-2	4.5	0.6	0.44

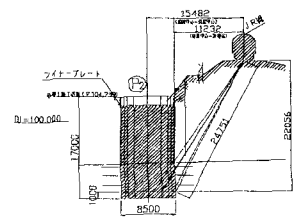


図 3 JR 線からの離れ

3. 施工

1) 振動測定

発破作業は約 1 時間の線路閉鎖作業とし、1 時間の間合いの中で発破作業、軌道検測、軌道整備まで行なえるサイクルとした。測定器の位置は施工基面上に 1 箇所セツトし、発破地点から対象物に向かって水平前後 (X 方向)、水平左右 (Y 方向)、鉛直 (Z 方向) の振動を同時に測定し、これらの値を合成して振動速度とした。また発破作業を行なう上での安全対策として、装薬・結線作業時の漏洩電流の確認及び結線完了後の導通確認、飛散防止のため防爆シートで発破面と坑口を確実に覆い、約 30m の立入禁止区域を設け、発破完了後は送風機により坑内へ空気を送り出し換気するなどの対策をとった。図 3 に発破作業施工フローを示す。

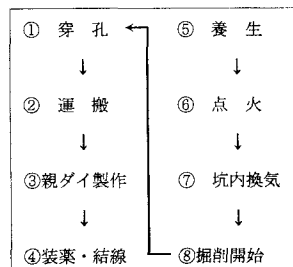


図 3 発破作業施工フロー

2) 振動測定結果

試験結果は、表 2 に示すようにすべての段数において振動管理値の 2kine 以下の値となり、芯抜きで 1.30kine、払いで 0.46~0.86kine であった。芯抜きは払いと比べて 1 自由面発破であり、瞬発電気雷管であるため振動値が大きくなっている。また 3 方向の比較では Z 方向の振動が大きいが、これは

表 2 試験発破振動値

電気雷管 段数	振動速度 (kine)			
	X方向	Y方向	Z方向	合成
瞬発	0.496	0.256	1.272	1.299
DS2段	0.320	0.217	0.540	0.547
DS3段	0.183	0.159	0.525	0.527
DS4段	0.173	0.210	0.442	0.459
DS5段	0.208	0.232	0.466	0.466
DS6段	0.374	0.472	0.857	0.864

穿孔角度が設定角度 60° より小さく浅く設置したためと自由面が Z 方向にあるため、発破振動が鉛直方向に伝播したためと考えられる。発破終了後に軌道検測を行ない軌道変状の有無を確認した結果、軌道への影響は全くなかった。

さらに発破振動は距離と装薬量に大きく影響されるため、試験発破の実測値から距離ごとの許容される装薬量を算出した。これを基に管理値を超えない発破パターンを決定し施工を行なった。図 4 には予測値と試験発破後の距離に応じた許容装薬量を示す。

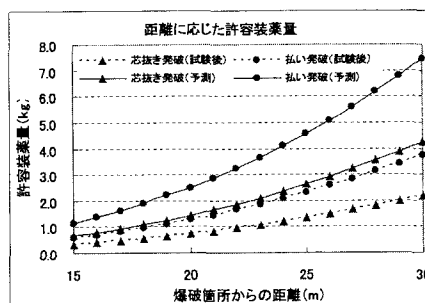


図 4 距離に応じた許容装薬量

4. 考察

試験結果と振動予測値との比較では、特に芯抜きと DS6 段で予測値よりも大きな値を示した。この理由の一つとして表 3 に示すように発破条件や岩盤状態により変化する K 値が異なっていたことが挙げられる。K 値は表 4 に示す様々な要因により変化するが、本施工現場はひん岩上に表土層があったこと、また芯抜きと DS6 段の装薬量が少なかったため破砕効果が小さいこと、さらには伝播する岩盤が破砕帯のない硬い地盤であったことなどの要因により振動が大きくなったと考えられる。また K 値として平均的な値を用いたために表 3 に示す違いが生じたものと考えられる。ここで振動予測値とはあくまでも推定値であるため、図 4 に示す距離と許容装薬量の関係をおさえ、施工現場の地盤条件に適合した予測式を決定することが重要である。

表 3 K 値の比較

	芯抜き発破	払い発破
予測値設定 K 値	600	400
試験結果の逆算 K 値	996	659

表 4 K 値に影響を与える要因

K=C1・C2・C3・C4・C5	
C1	発破の種類によって定まる定数 (トンネル発破・ベンガット・坑道式発破)
C2	発破のかけ方 (破砕効果) の良否により変化する要素 装薬量に対して抵抗線の大い発破 (弱装薬) C2>1 装薬量に対して抵抗線の小さい発破 (過装薬) C2<1
C3	受振点の地盤状況の差異により変わる要素 堅硬な岩盤の場合 C3=1 岩盤上に表層がある場合 C3>1
C4	装薬された爆薬の種類の違いによる要素 通常の爆薬の場合 C4=1 低伝達爆薬の場合 C4<1
C5	発破域に対する受振点方向の差により変わる要素 発破域の後面的場合 C5=1 発破域の前面的場合 C5<1

5. おわりに

本稿では、試験発破の振動を測定し、振動予測値と実測値の比較・検討を行なった。営業線近接箇所での発破作業の実績は多くないため、今回得られたデータの解析や複数箇所での振動測定を行ない、今後参考になるデータの蓄積に努めていきたい。

【参考文献】 1) 現場技術者のための発破工学ハンドブック 火薬学会発破専門部会 2001.08

2) 新・発破ハンドブック 山海堂 1992.10