

# 近接供用条件下での発破施工と補強土壁の安全確保

名古屋支店 大須ヶ洞作業所 白木 昇平

## 1. はじめに

国道475号東海環状自動車道は、愛知県・岐阜県・三重県に跨る延長153kmの高規格道路である。中京圏の放射状道路ネットワークを環状道路で結ぶことで、環状道路の機能を活かし企業活動の向上、物流の効率化、観光活性化等の様々なストック効果が発揮されている重要な道路である。

現在、東海環状自動車道 岐阜管内の土岐JCT～可児御嵩ICの6km区間においては、片側1車線道路として運用されており、片側2車線に複線化することを目的とした事業を実施している。大須ヶ洞第三橋他1橋（下部工）工事（以下、本工事）では6kmのうち、橋梁区間・土工区間を含めた延長740m間で工事を行っており、大須ヶ洞第三橋及び久々利一号橋の2橋梁の下部工工事を行っている。

本工事で施工する橋脚は、基礎の構造形式として大口径深礎が採用されており、施工箇所は硬質な岩盤が分布していることから、基礎工事において発破による岩の破砕が必要であった。

しかしながら、本工事の深礎施工箇所は供用中である東海環状自動車道（以下、I期線）と近接しており、I期線の安全を確保しながら深礎杭の施工を進めなければならなかった。

以下に施工方法の検討・解決方法等についてその詳細を報告する。



写真-1 深礎杭施工箇所と補強土壁の位置関係

## 2. 工事概要

工事名：大須ヶ洞第三橋他1橋（下部工）工事

工事場所：岐阜県 可児市 久々利柿下入会

発注者：中日本高速道路株式会社名古屋支社

施工者：株式会社熊谷組

工期：2020年11月20日～2024年6月1日

工事内容：

大須ヶ洞第三橋 橋長 L=295m

逆T式橋台2基、柱式橋脚8基、深礎杭φ2.5m、6.0m、7.0m、8.0m L=6.5m～18.0m×16本 計182.0m

久々利一号橋 橋長 L=75m

逆T式橋台2基、柱式橋脚1基、深礎杭φ2.0m、5.0m L=6.0m～14.0m×9本 計70.0m

切土工事 31,000m<sup>3</sup>

工事用仮栈橋2箇所 L=141m、623m

## 3. 施工方法の検討

### 3.1 課題の抽出

本工事の深礎杭施工箇所と近接しているI期線は補強土壁で構成されており、補強土壁との水平距離が最小で1m程度で、このような近接条件下で発破施工をした事例が発注者にはなかった（図-1）。そのため発破施工による振動が道路全体（補強土壁）の崩壊や道路の舗装表面（路面）の損傷が発生し、通行車両の安全性に懸念が生じる可能性が指摘された。

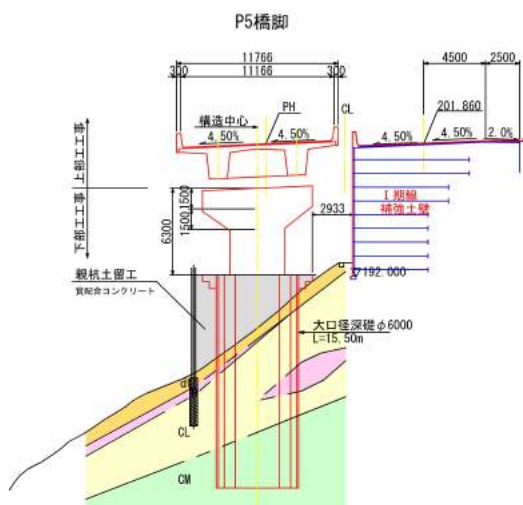


図-1 橋脚横断図（P5橋脚を代表）

キーワード：近接施工、深礎、発破作業、振動速度、非火薬材

連絡先：〒509-0231 岐阜県可児市緑ヶ丘1-141-1 (株)熊谷組大須ヶ洞作業所 TEL0574-66-5318

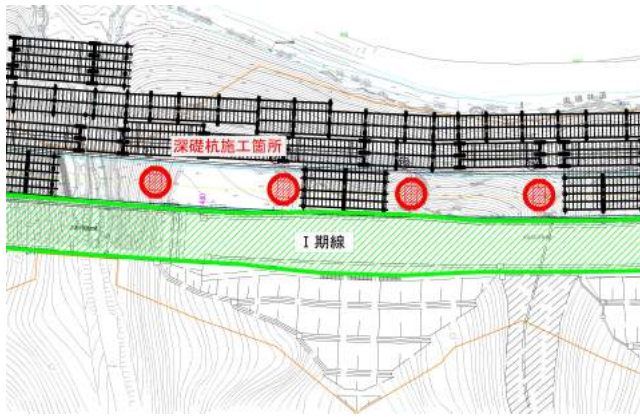


図-2 平面図

本工事ではトータルステーションを用いて補強土壁の変位を常時観測する動態観測が当初設計に含まれており、補強土壁に与える振動を軽減し、安全性を確保しながら深礎杭の施工方法を検討することが求められた。



写真-2 動態観測に使用中の機械

### 3.2 発破方法の検討

発破施工において発破場所からの距離が振動速度に影響を及ぼすことに着目し、最適な施工方法の検討を行った。

#### (1) 発破振動値の基準値検討

深礎杭の発破における資料が少なかったため、条件の似たトンネルの発破資料を参考とすることにし、文献 1) の中で、動的挙動による既設トンネルへの許容値の中で最も安全側である振動速度 2kine (cm/sec) 以下を暫定基準値として設定し、計画・管理することとした (表-1)。

表-1 振動速度の許容値 (文献 1) より抜粋)

健全度判定区分	許容振動速度
B, OK	4cm/sec
A	3cm/sec
AA	2cm/sec

注) コンクリート片の落下のおそれのある場合は、その処置を前提とする。

#### (2) 破砕方法の検討

暫定基準値を満足する発破パターンを検討した。

$$\text{発破振動予測式: } V=K \times W^{0.75} \times D^{-2}$$

V: 振動速度 (kine)

K: 発破条件や岩盤特性によって変化する係数

W: 段当たりの薬量 (kg)

D: 発破場所からの距離 (m)

K 値は、トンネル発破の K 値を参考に、予想される K 値の範囲内で中間程度の値を採用し、発破振動パターンの検討を行った (表-2 参照)。

表-2 発破振動推定式と K 値 (文献 2) より抜粋)

メーカー名	推定式	区分	Kの値
日本化薬	$V=K \times W^{0.75} \times D^{-2}$	トンネル発破の心抜	450~900
		トンネル発破の払い	200~500
		トンネル発破の踏まえ	300~700
		すかし発破	200~500
		大口径ベンチ発破	100~300
旭化成	$V=K \times W^{2/3} \times D^{-2}$	盤下げ、ゆるめ発破	300~2000
		トンネル発破の心抜	500~1000
		トンネル発破の払い	200~500
		明かり発破	200~500
日本油脂	$V=K \times W^{0.75} \times D^{-1.5}$	トンネル発破	80±40
		大口径ベンチ発破	20±10
		小口径ベンチ発破	50±30
		明かり発破	50±30

検討は、火薬材を用いた発破パターン 3 種と、非火薬材を用いたパターンで検討した。

非火薬材として検討したロックラックとは、金属酸化物とアルミニウムの酸化還元反応で高温 (熱) になるテルミット反応を利用した製品で、成分中の水の結晶 (ミョウバン) から発生する水蒸気膨張圧で対象物を破砕するものである。水蒸気圧による破砕のため、爆薬 (火薬材) に比べ低振動の破砕を可能としており、振動規制が厳しい箇所等で使用されるものである。

検討結果を表-3 に示す。



写真-3 ロックラックのカートリッジと点火具



表-3 試験発破パターンと基準値に対する評価

パターン	予想K値		装薬量(kg)		予想振動速度(kine)		検討結果	
	芯抜き	払い	芯抜き	払い	芯抜き	払い		
A	通常発破 1.0m掘進	700	350	1.6	1.8	11.4	7.69	×
B	制御発破 1.0m掘進			0.4	0.6	4.01	2.71	×
C	制御発破 0.5m掘進			0.2	0.2	2.39	1.19	×
D	非火薬材 1.0m掘進	79*	39*	1.2	2.4	1.03	0.835	○

\*文献 3) より、ロックラックでのK値は通常発破のK値の9分の1となる。

検討の結果、通常の火薬材を使用した場合は振動速度 2kine 以下に収めることが不可能だったため、試験施工は非火薬材を用いて行うことが決定した。

### 3.3 試験施工の実施

暫定基準値と補強土壁の安全性の検証及び本現場のK値の計測のため、試験施工を大須ヶ洞第三橋 P2 橋脚の深礎杭 φ6.0m 内で実施した。

試験位置は P2 橋脚径内にて I 期線からの離隔が一番取れる位置とし (図-3)、発破防護を十分なものにするため、GL-3.0m 程度の深度とした (図-4)。

計測方法としては、振動速度計を用いて、発破箇所と地続きになる箇所を設置し、発破振動速度を直接計測した。図-3 の位置で計測した振動速度を発破振動予測式から K 値を逆算して、補強土壁基礎部における振動速度を算出する方法を採用した。

試験発破によって計測した実測値及び本現場の K 値を表-4 にまとめた。

予想値芯抜き 1.03kine、払い 0.835kine に対し、実測値は芯抜き 1.194kine、払い 1.517kine と予想より振動速度が大きな値を示したが、3.2 で暫定基準値 2.0kine を下回る結果となった。また、試験施工前後で常時観測している動態観測と補強土壁の目視確認を行い、異常や変位は確認されなかった。以上のことから、振動速度の暫定基準値 2.0kine が補強土壁の安全確保に適正な数値であると評価できた。



図-3 試験位置図 (平面図)

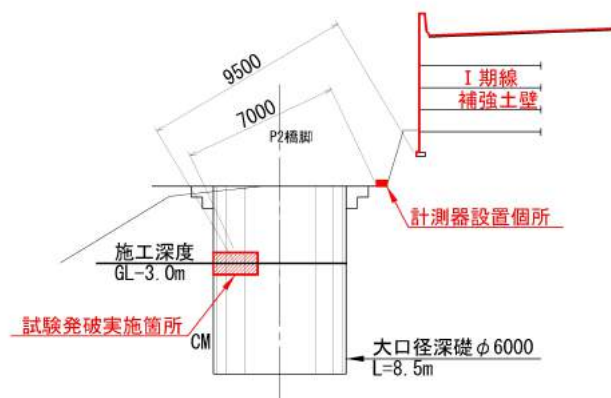


図-4 試験位置図 (P2 橋脚横断面図)

## 4. 施工方法の決定

試験施工の結果から振動速度の許容値と本現場の非火薬における K 値が芯抜き 94、払い 71 と決定したので、振動速度の許容値を超えない発破場所までの距離を、発破振動予測式を用いて逆算した。

表-4 試験発破パターンと基準値に対する評価

	計測箇所までの距離(m)	計測箇所での実測振動速度 (kine)	薬量(kg)	実測K値	補強土壁基礎までの距離(m)	補強土壁基礎での実測振動速度 (kine)	予想振動速度 (kine)
芯抜き	7.0	2.2	1.2	94	9.5	1.194	1.03
払い	7.0	2.8	2.4	71	9.5	1.517	0.835

逆算結果を表-5 に示す。

表-5 から深礎杭の施工が進み、発破箇所から補強土壁までの距離が確保出来た場合には火薬材を用いた発破施工が出来ることが判明した。

非火薬材は火薬材と比較して高価であるため、経済性を考慮し深度に応じた発破パターンを検討した。

発破パターンを各橋脚の深礎杭と補強土壁との距離に反映し検証した結果、パターン A2 に関しては適応できる範囲が無かったが、パターン B2～D2 に関しては適応できる範囲があった (図-5)。

図-5 の発破パターンの分類に従って振動速度を計測しながら発破施工を行った結果、パターン B2～D2 で振動速度の基準値 2kine 以下となり、岩盤の破碎が可能だった。

以上の結果から、供用路線の I 期線補強土壁と発破施工箇所との距離に応じてケース B2～D2 の 3 つの発破方法使い分けて、近接条件下での発破施工を進めていくことが決定した。

また発破作業によって、高速道路利用者が発破音に驚かれないよう、監視人を配置し工事区間と接している供用路線に車両がないことを確認し、無線合図にて発破作業を行った。

## 5. まとめ

本工事では 29 本の深礎杭があったが、供用路線の I 期線補強土壁を含めた道路全体に影響を与えることなく、深礎杭の掘削作業は無事に全て完了した。

試験施工の結果によって得られた基準値を遵守し、供用路線の I 期線補強土壁と発破施工箇所との距離に応じて 3 つの発破方法 (非火薬材 1.0m 掘進, 制御発破 0.5m 掘進, 制御発破 1.0m 掘進) を組み合わせることで、経済性と工程を確保しながら、近接供用条件下での発破施工と補強土壁の安全確保に対する施工方法を実現できた。

## 参考文献

- 1) 中日本高速道路株式会社：平成 28 年 8 月 設計要領第三集 トンネル 保全編
- 2) 日本火薬工業会：平成 14 年 3 月 あんな発破 こんな発破
- 3) カヤクジャパン株式会社：平成 28 年 9 月 27 日 ロックラックの破碎振動について

表-5 試験発破パターンと基準値に対する評価

パターン	本現場K値		装薬数(kg)		2kine以内の距離(m)	
	芯抜き	払い	芯抜き	払い	芯抜き	払い
A2 通常発破 1.0m掘進	846	639	1.6	6.0	24.5	35.0
B2 制御発破 1.0m掘進			0.4	0.6	15	15.0
C2 制御発破 0.5m掘進			0.2	0.2	11.5	10.0
D2 非火薬材 1.0m掘進	94	71	1.2	1.8	7.5	7.5

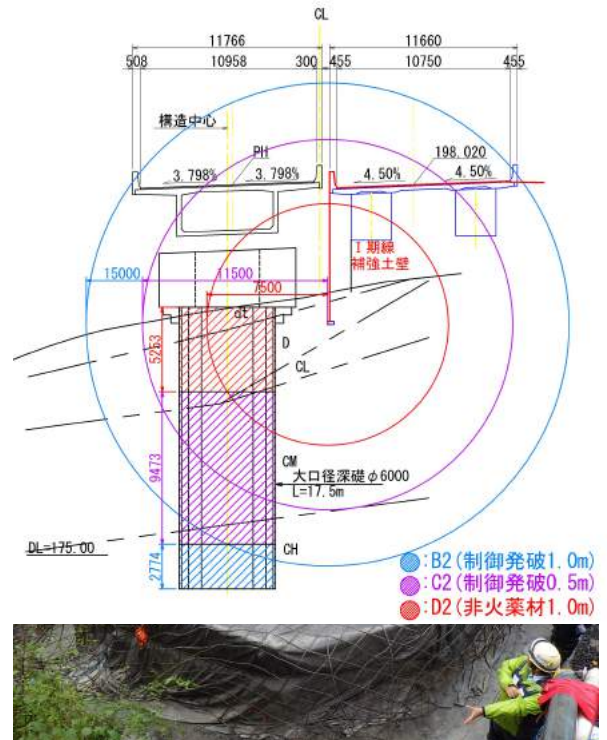


図-5 掘削深度に応じた発破パターン

写真-4 発破状況

