

新幹線高架橋駅舎におけるアンダーピニングの影響解析と計測

Influence Analysis and Measurement of Underpinning Viaduct of Shinkansen Station

生田 雄康* 松本 岸雄** 古山 章一* 西澤 政晃*

Katsuyasu IKUTA, Kishio MATSUMOTO, Shoichi FURUYAMA and Masaaki NISHIZAWA

This paper reports on the influence analysis and the measurement of underpinning the viaduct of Sendai station on Tohoku Shinkansen in the construction of the subway which crosses under the viaduct.

For operating Shinkansen safety, the virtual displacement of the viaduct have been controlled by limiting 3mm. We are measuring the subsidence and the inclination, etc. of the viaduct automatically. And the result of this measurement agrees with the analysis done before construction well. The viaduct does not displace harmfully now. We continue measuring in the construction in the future, and we will feed back the result of measurement to construction.

Keywords : Underpinning, Influence Analysis, Automatic Measurement, Underground Railway Tunnel

1. まえがき

土地の有効利用を図るため、JR仙石線の仙台～苦竹間の延長約3.9kmの地下化が進められている。このうち、東北新幹線の仙台駅高架橋直下を横断する部分については、高架橋を受替用深礎杭で受け替えて地下に鉄筋コンクリート函体を構築するアンダーピニング工法を採用している¹⁾。

本稿では、アンダーピニング工法によって工事を進める時に、新幹線高架橋に与える影響を事前に予測し、これを実測値の関係を検証したので、その結果について考察する。

2. 工事概要

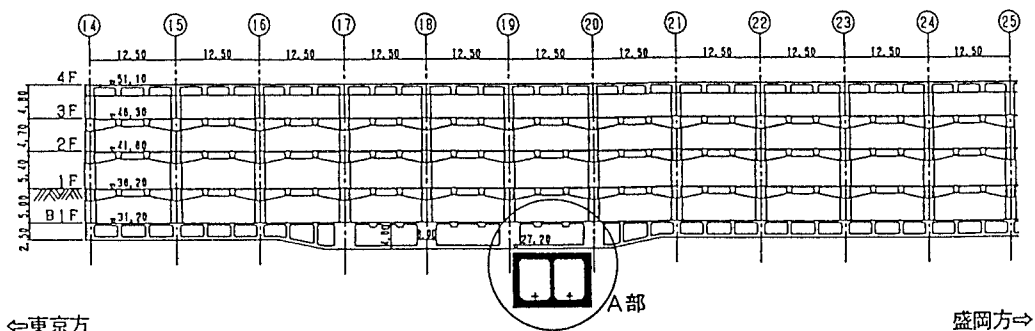
仙台駅舎は図-1に示すように多層多径間ラーメン構造の高架橋であって、基礎は地中梁を有する直接基礎となっており、支持地盤は一軸圧縮強度が50kgf/cm²程度の凝灰質泥岩である。

本工事においては、図-2に示すように高架橋の19、20通りの地中梁下方に2本の導坑を掘削し、高架橋柱直下の位置に場所打ちの受替杭（深礎杭）を造成する。その後、この受替杭に受台と油圧ジャッキを介して高架橋荷重を受け替え、導坑間の切り上げおよび本掘削を行い、1層2径間の地下鉄函体を構築するものである。

* 正会員 JR東日本 東北工事事務所 工事管理室

** 正会員 JR東日本 東北工事事務所 工事第一課

高架橋縦断面 (B列)



高架橋基礎平面

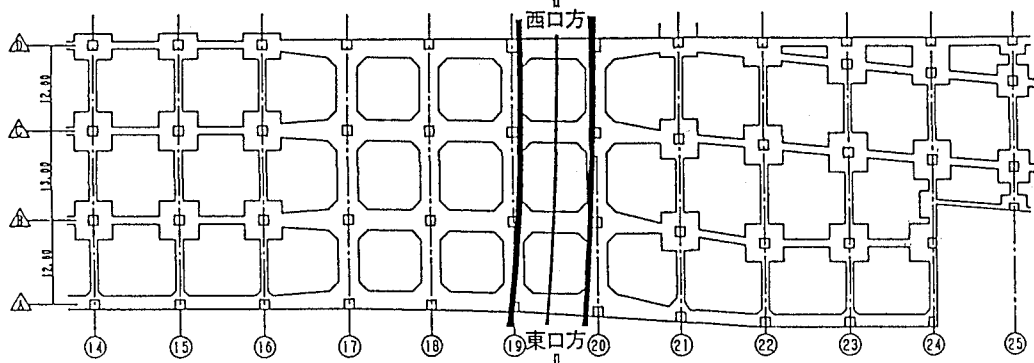


図-1 仙台駅高架橋および函体構築位置図

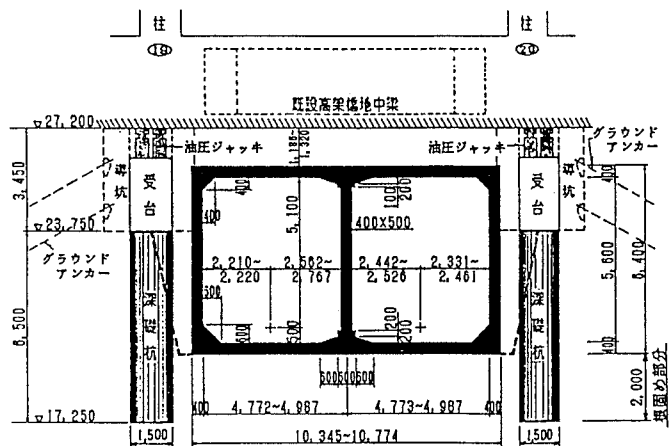


図-2 施工概念図 (A部詳細)

概略施工順序

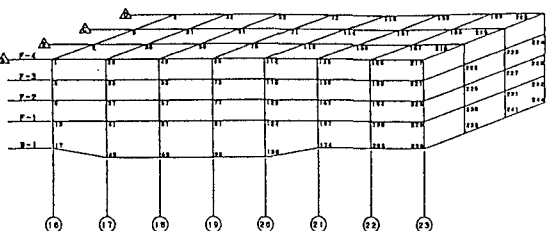
1. ⑬通り導坑掘削
2. -"- グラウンドアンカー施工
3. -"- 受替用深礎杭造成
4. -"- ジャッキ受台作成
5. -"- 油圧ジャッキ設置
6. -"- 受替杭へのブレード
7. -"- 高架橋への応力導入
8. -"- 高架橋の受替杭への受替
9. ⑭通りも⑬通りの1～8と同様
10. 導坑間の切詰め、本掘削
11. 涵体構築、埋戻し

高架橋地中梁は本工事を想定し、新幹線高架橋建設時に3スパンについて事前に断面を大きくしあらかじめ補強されており、1スパンは杭で支持させることができる構造のため、受替杭を仮受時のみでなく将来的な本杭として使用することが可能となった。

3. 影響解析

施工に伴う高架橋の影響予測は、以下の条件による3次元弾性骨組構造解析により行っている。

- ①施工段階を考慮した解析（ステップ解析）
- ②導坑掘削による周辺地盤のゆるみを考慮
- ③受替杭施工後に高架橋に応力導入を与えた解析
- ④高架橋を図－3に示す立体ラーメンでモデル化
- ⑤高架橋を変位量と発生断面力の両方で照査



図－3 高架橋立体骨組図

なお、施工では各施工段階終了ごと（19通り導坑掘削後、20通り導坑掘削後）に計測結果を用いたシミュレーション解析（逆解析）を実施し、解析の妥当性と設計の検証を行いながら工事を進めている。表－1に20通り導坑掘削完了後に実施したシミュレーション解析の結果を示す。

4. 計測管理

新幹線の列車運行に支障することなく工事を進めるには、駅舎高架橋の変位、応力状態および周辺地盤等の挙動とその傾向を的確に把握し、アンダーピニング支持部材をも含めて総合的にその安全性を確認しながら施工する必要がある。そのため、高架橋柱相互間の不同沈下が最も重要な管理項目であると考え、解析結果および新幹線走行に対する安全性、建物としての変位の限界値等から、隣接柱間の相対鉛直変位を3mmとして管理を行っている。

計測は表－2に示すように、高架橋、受替杭および周辺地盤について自動計測およびマイクロレベルによる手動計測を行い、設定した管理値に基づいて施工管理を行っている。

表－1 20通り導坑掘削完了後のシミュレーション結果

列番号 施工段階		18通り		19通り		20通り		21通り	
		施工前基準	相対沈下	施工前基準	相対沈下	施工前基準	相対沈下	施工前基準	相対沈下
D 列	①：施工前	0.000	0.042	0.000	0.772	0.000	0.039	0.000	-0.042
	②：19通り掘削	0.042	-0.041	0.772	-0.769	0.039	-0.047	-0.042	0.039
	③：19通りカーフ	0.001	-0.028	0.003	0.025	-0.008	2.164	-0.003	0.206
	④：20通り掘削	-0.027	0.023	0.028	-0.012	2.156	-2.076	0.273	-0.245
	⑤：20通りカーフ	-0.004	-0.044	0.016	1.112	0.080	1.692	0.028	0.002
	⑥：本掘削	-0.048		1.128		1.772		0.030	
C 列	①：施工前	0.000	0.112	0.000	1.237	0.000	0.035	0.000	-0.069
	②：19通り掘削	0.112	-0.109	1.237	-1.256	0.035	0.077	-0.069	0.062
	③：19通りカーフ	0.003	-0.040	-0.019	0.142	-0.042	2.555	-0.007	2.270
	④：20通り掘削	-0.037	-0.480	0.123	-0.091	2.513	-1.908	2.263	-0.677
	⑤：20通りカーフ	-0.517	0.521	0.032	1.603	0.605	1.926	1.586	0.094
	⑥：本掘削	0.004		1.635		2.531		1.680	
B 列	①：施工前	0.000	0.113	0.000	1.322	0.000	0.766	0.000	0.052
	②：19通り掘削	0.113	0.124	1.322	-1.248	0.766	-0.091	0.052	0.064
	③：19通りカーフ	-0.011	-0.035	0.074	0.125	0.675	1.961	0.116	1.150
	④：20通り掘削	-0.046	0.035	0.199	-0.126	2.636	-1.987	1.266	-0.514
	⑤：20通りカーフ	-0.011	0.011	0.073	1.632	0.649	1.833	0.752	0.042
	⑥：本掘削	0.000		1.705		2.531		0.794	
A 列	①：施工前	0.000	0.052	0.000	0.993	0.000	1.456	0.000	0.172
	②：19通り掘削	0.052	-0.088	0.993	-0.771	1.456	-0.106	0.172	0.033
	③：19通りカーフ	-0.036	-0.028	0.222	0.037	1.350	1.434	0.205	2.762
	④：20通り掘削	-0.064	0.038	0.259	-0.142	2.784	-1.793	2.967	-0.643
	⑤：20通りカーフ	-0.026	-0.018	0.117	1.401	0.991	1.417	2.324	0.057
	⑥：本掘削	-0.044		1.518		2.408		2.381	

5. 計測結果

表－2 自動計測内容

対 象	計測項目	使用計器	計器設置位置	計測点数
駅舎高架橋	隆起、沈下	液圧式相対沈下計	B 1階柱	基準1式+18点
	傾斜	固定式傾斜計	B 1階柱	2箇所×2点
導坑	グラウンドアンカー軸力	ロードセル	グラウンドアンカー定着部	2導坑×1箇所×2点
周辺地盤	地中変位	埋設型固定式傾斜計	導坑下方	2導坑×2箇所×1点
受替杭	絶対変位	ロッド式沈下計	深礎杭頭部	2基×1点
	相対変位	変位計	深礎杭頭部	8基×2点
	軸力	鉄筋計	深礎杭主鉄筋	8基×1段×4点 2基×2段×4点
		土圧計	深礎杭先端部	2基×1点
		コンクリート有効応力計	深礎杭先端部	2基×4点
	地中変位	ロッド式沈下計	深礎杭下方	2基×4点

5・1 施工に伴う高架橋基礎の変位

現在までに終了した駅舎高架橋下の主な工事の実施工程を表－3に示す。また、19通り導坑掘削から20通り受替終了時までの高架橋鉛直変位の自動計測結果を図－4に示す。

この結果から、作業内容と関連した変形は19通りと20通りでほぼ同様の挙動を示していることが判る。ただし深礎杭施工に伴う変形については、掘削の際に地下水を汲み上げた影響から一旦高架橋全

体が沈下し、杭体のコンクリート打設後地下水位が回復し高架橋も隆起している。これは19通り、20通りとも同様の挙動を示したが、受替え直前には施工前に比べて19通りは全体的に沈下し20通りでは隆起している。この原因として、20通り深礎杭施工時は19通りにおいて受替えが完了しており、下方への変形が杭によって抑制されたためと考えられる。

また、19通りの施工の際はA列については他と比較し変位が小さくなっているが、これは高架橋基礎が新幹線建設時の地中連続壁と接触していることから、高架橋の動きを拘束したものと考えられた²⁾。しかし、20通りの施工ではA列（特に20、21通り）の変位が大きくなっており、必ずしも連続地中壁が高架橋の変位を拘束しないことが確認された。この原因としては、高架橋基礎の地中梁が20～21通りにかけて断面が小さくなっていることと、この部分の地盤強度が17～20通りの支持地盤よりも小さいことによるものと推定される。

受替えに伴う変形では、19、20通りとも受替えにより高架橋が隆起したことが確認できた。

5・2 影響解析値と実測値の比較

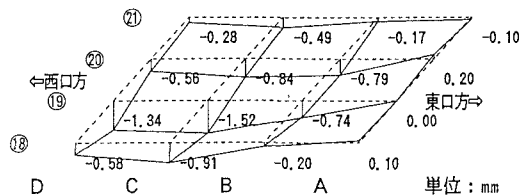
20通り導坑掘削完了後に行った影響解析結果と施工後の計測結果を図－5に示す。なお、計測結果は導坑掘削前・後の自動計測値およびマイクロレベル測定結果を評価したものである。

この結果から解析結果は実測値とよく一致しており、解析の妥当性が検証できた。なお、一部で解析結果と実測値が合わない部分もあるが、これは部分的に地盤強度が異なるためと思われる。

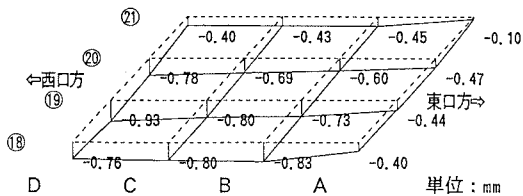
表－3 工事実施工程

主な工事	年月	平成 5 年												平成 6 年						
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	
19通り導坑掘削		—																		
19通り深礎杭施工				—																
19通り受台施工											—	—								
19通り受替工												—								
20通り導坑掘削												—	—							
20通り深礎杭施工																	—	—		
20通り受台施工																		—		
20通り受替工																			—	

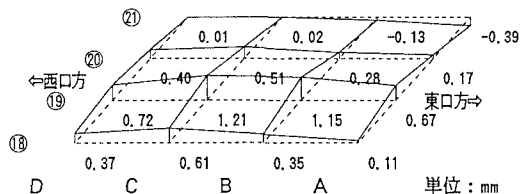
⑱通り導坑掘削に伴う高架橋の変位(H5.1.12:H5.5.19)



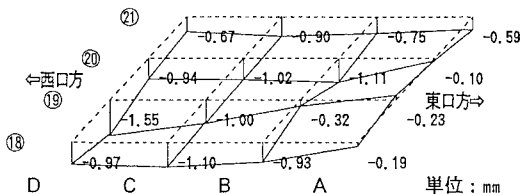
⑱通り深礎杭施工に伴う高架橋の変位(H5.5.19:H5.11.30)



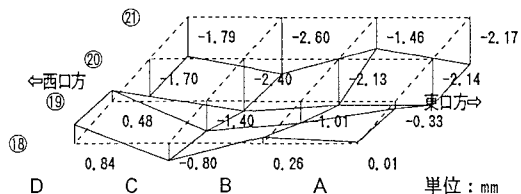
⑱通り応力導入に伴う高架橋の変位(H5.11.30:H5.12.1)



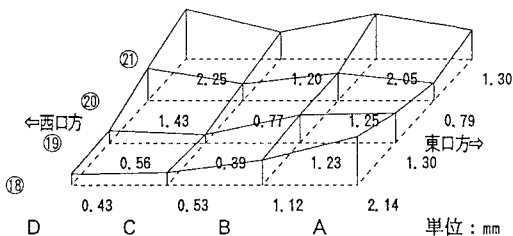
⑱通り応力導入後の高架橋の絶対変位 (⑱導坑掘削前を基準)



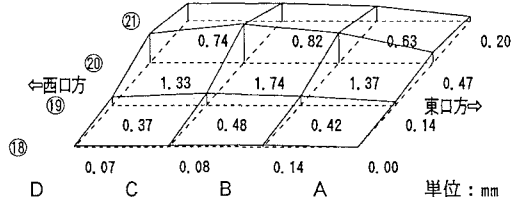
⑳通り導坑掘削に伴う高架橋の変位(H5.12.16:H6.4.1)



⑳通り深礎杭施工に伴う高架橋の変位(H6.4.1:H6.7.25)



⑳通り応力導入に伴う高架橋の変位(H6.7.25:H6.7.27)



⑳通り応力導入後の高架橋の絶対変位 (⑳導坑掘削前を基準)

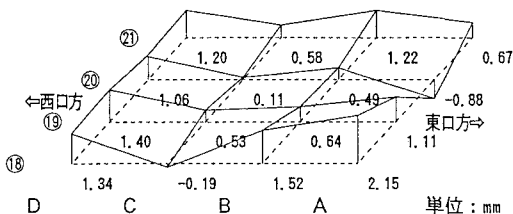
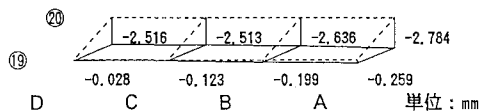


図-4 高架橋鉛直変位計測結果

⑳通り導坑掘削後の高架橋の絶対変位 (解析値)



⑳通り導坑掘削後の高架橋の絶対変位 (実測値)

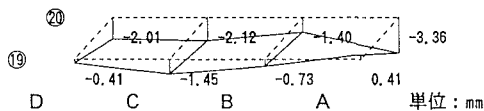


図-5 20通り導坑掘削完了後に行った影響解析結果と施工後の計測結果

6. おわりに

新幹線を走行させながらの施工であることから、高架橋の安全性を確認しながら工事を進めている。現在導坑間の切り上げを行っており、その後函体の構築となる。今後とも計測を密に行いながら安全に工事を完了させたいと考えている。

7. 参考文献

- 1) 瀧内, 佐々木, 庄司, 古山 : 仙石線地下化における仙台駅アンダーピニング計画, 第2回トンネル工学研究発表会論文・報告集, pp125~130, 1992. 11
- 2) 瀧内, 古山 : 仙石線地下化における仙台駅アンダーピニングの影響解析と計測, 日本鉄道施設協会誌, pp226~228, 1994. 3