

# CONSTRUCTION AND FIELD MEASUREMENT ON THE FOUNDATION OF XFEL UNDULATOR BUILDING

Chiharu Arakawa <sup>\*A)</sup>, Manabu Nakamura <sup>B)</sup>, Takashi Otsuka <sup>B)</sup>, Yuji Yamano <sup>C)</sup>,  
Akihiko Uchida <sup>A)</sup>, Tsuyoshi Honda <sup>A)</sup>

<sup>A)</sup> Takenaka coraporetion

1-1-1 Shinsuna, Koto-ku, Tokyo, 136-0075

<sup>B)</sup> Riken

2-18-3 Iidabashi, Chiyoda-ku, Tokyo, 102-8117

<sup>C)</sup> Nikken Sekkei Ltd

2-1 Hirosawa, Wako, Saitama, 351-0198

## Abstract

In the construction of XFEL Undulator Building completed in March 2009, a replacement method by excavation using crushed stone was adopted as the foundation of XFEL Undulator Building. The foundation works were to excavate the reclaimed soil that had been filled during construction of the next SPring-8 and residual soil that had been heavily weathered before the filling, and to backfill crushed stone on the stiff rock. The excavation and backfilling reached up to the maximum depth of 16.5 m. Since extremely high performance against the settlement which could not be satisfied in general embankments using crushed stone was required in the foundation of XFEL Undulator Building, several tests on the natures of crushed stone and execution control were carried out to make the stiff foundation. The replacement method by excavation was executed in 7 months from October 2007 to the middle of May 2008 based on the results of several tests.

This paper report the results of several tests on the natures of materials used in the backfilling and various execution controls related to the amount of stabilizer, spreading depth, compaction method and measurements in the degree of compaction. Additionally, long-term measurements on the settlement of embankment have been conducted from the middle of May 2008 for the purpose of investigating the settlement behavior at the foundation. The result of long-term measurements until March 2010 is also reported.

## XFEL 光源棟建屋の地盤改良工事施工と挙動計測

### 1. はじめに

2009年3月に竣工したXFEL光源棟工事では、直線的に装置が並ぶアンジュレータホールの床に長期的な変位を発生させないことが、工事上の重要なポイントのひとつであった。

計画地地盤は着工前に行われた地質調査により、図1に示す通り、旧地形において谷筋であった部分に埋土がされていることが分かっていた。この埋土は、隣接するSPring-8蓄積リング棟の基礎地盤を造成した当時の発生土であるとのことであった。また、もともとの地山であった部分でも風化が強く進行している強風化岩の存在が確認されていた。

これらの部分は、建屋重量に対し長期的かつ多大

な沈下を発生させることが明らかであったため、掘削・除去し、道路材として使用される碎石に置き換える「碎石置換工法」によって地盤改良する必要があった。

ところが、一般にダム工事などで行われる置換工法においては、少なくともその改良厚さの0.1%程度の残留沈下が発生することが既往の文献<sup>[1][2]</sup>において報告されており、本工事の改良深さにすると16~17mmもの沈下量となることが分かった。その後、現地諸条件を勘案した詳細検討が行われた結果、4~6mmの沈下量との推定に至ったが、装置設置床としての要求性能には不十分であった。

以上のことから本工事においては、前例のない高品質な地盤改良工事を目指すこととなった。

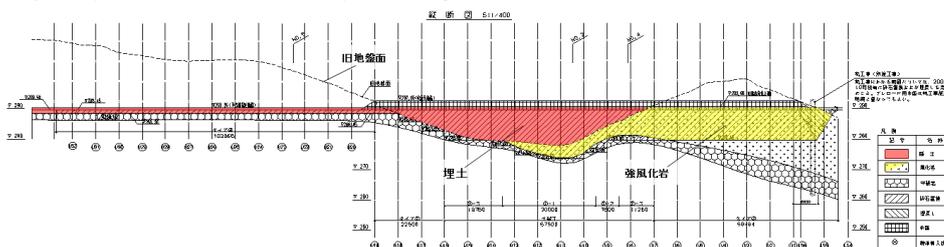


図1：計画地縦断面図

## 2. 施工検討

### 2.1 砕石材料

使用する砕石は、「粒度調整砕石 M-40 (JIS A 5001)」と言われる大きさが最大 40mm までの砕石を図 2 のような粒度分布に調整・混合したものである。砕石の入手先として、地元西播磨地区のものを採用したが、使用量が約 47,000 m<sup>3</sup>と大量であったため、一ヶ所の砕石工場では賄いきれず、最終的には四ヶ所の工場からの搬入となった。

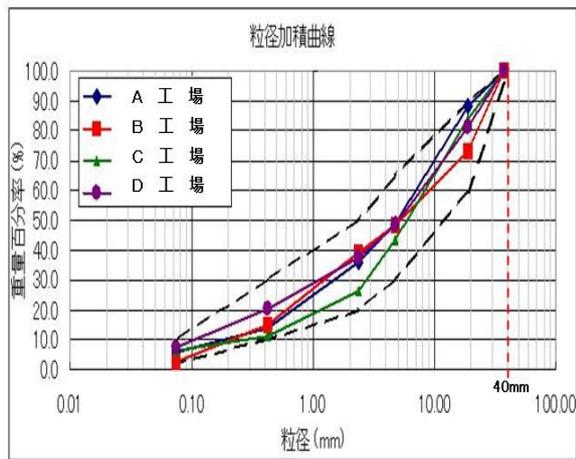


図 2：砕石材料粒径加積曲線

### 2.2 締固め方法

締固め方法について、工事エリア内で実際の砕石材を使った試験施工を実施した。試験した施工条件は、はじめに砕石を敷き均す厚さである「巻き出し厚」を 20,30,40,50cm、20t 振動ローラーで転圧をかける「転圧回数」を 6,8,10,12 回の 16 ケースでおのおの締固め度、沈下量（転圧回数の増加による増分沈下量）を測定した。その結果を表 1 に示す。16 ケースの中で最大の締固め度を示し、沈下量も安定した、40cm、12 回で施工することと決定した。

締固め度とは同一材料で行った「室内締固め試験 (JIS A 1210)」で得られる最大乾燥密度を基準とした現場乾燥密度の比率である。

表 1：試験施工結果一覧

巻き出し厚	転圧回数	締固め度 (%)	沈下量 (mm)
20cm	6 回	93.7	49.0
	8 回	95.6	6.3
	10 回	96.0	5.8
	12 回	97.6	8.1
30cm	6 回	92.1	63.3
	8 回	94.1	8.0
	10 回	95.5	6.0
	12 回	94.6	14.3
40cm	6 回	92.6	51.7
	8 回	94.8	9.0
	10 回	97.4	11.5
	12 回	98.0	0.3
50cm	6 回	93.9	76.0
	8 回	96.8	2.5
	10 回	97.0	3.5
	12 回	96.9	0.8

### 2.3 固化材添加

改良地盤の沈下に大きな影響を与える要因として、水の浸入による微粒分の流出が想定された。締固めた砕石の骨格をさらにセメンテーションして固めたほうがより確実に沈下量が少なくなると考え、固化材の添加効果を確認する各種実験を行った。固化材の添加量は、重量比 2.5, 3.2, 4.0% の 3 ケースで締固め特性試験を行い、砕石自体の締固めを阻害しない量として 2.5% とした。さらに遠心模型実験装置を使用した沈下促進試験を実施し、浸水前後の沈下量を比較することで固化材添加の有効性を確認した。

固化材添加砕石の採用範囲は、旧地形や工事工程等を総合的に判断し、図 3 の通りとした。比率としては、固化材添加が 75%、無添加が 25% となった。

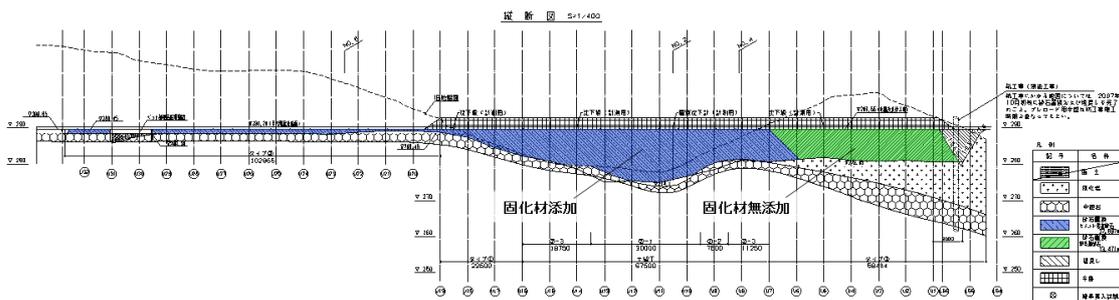


図 3：固化材添加・無添加仕様分け 範囲図

### 3. 施工状況

#### 3.1 品質管理

締固め状態の確認方法は、1日かつ1層毎に15箇所の締固め度測定をRI法で行い、その平均値が95%以上、かつ最低値が90%以上であることを判定基準と定めた。また、砕石材料についても、その性状のバラツキを確認するために、5,000 m<sup>3</sup>に1回の材料試験を行うこととした。

#### 3.2 施工状況

最深部エリア掘削完了後の実測から砕石置換の実施数量は51,400 m<sup>3</sup>となることが分かった。開始された砕石置換の1日当りの施工量は700~1,000 m<sup>3</sup>ほどあったが、ピーク時には1,200 m<sup>3</sup>を超えることもあった。



図4：掘削完了状況



図5：砕石置換施工状況

固化材の添加は、工事エリア内の砕石ストックヤードで土質改良機を使用して行われた。

最終的な施工数量としては、巻き出し層数で49層、締固め度計測回数が2,670回、締固め度平均値が98.48%であり、使用された砕石材料は70,600 m<sup>3</sup>となった。また、初期沈下を促進させるために現地発生土を高さ3mまで盛土し、改良地盤に荷重をかけるプレロードを2週間行った。

### 4. 挙動計測とまとめ

#### 4.1 計測計画

改良地盤の挙動計測は、光軸から南に700mmスライドさせたライン上で改良層厚8mのU5通、11mのU14通、1.5mのU18.5通にそれぞれ二重管式沈下板を設置した。また、改良層厚14mのU14通に層別沈下計を設置したが、設置直後の養生期間が短かく、初期沈下データが取れなかったため、初期沈下以後の挙動計測に使用している。

#### 4.2 計測結果とまとめ

2010年3月までの計測結果を図6に示す。

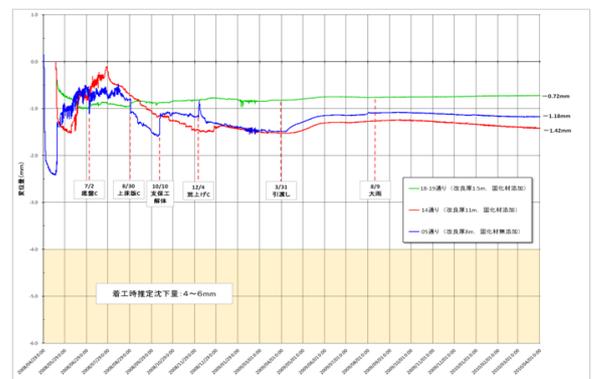


図6：変位計測結果（沈下板）

上記計測結果より以下のことが分かる。

- プレロード (5~6t/m<sup>2</sup>) を含めた施工時荷重の増減に対し、沈下・リバウンドを繰り返していることから、空隙のない十分な締固め状態となっていることが分かる。
  - 2009年8月9日に現地で発生した集中豪雨による影響も見られなかった。
  - 本年3月末の時点で最大沈下量-1.42mmとなっており、当初の推定値に対して十分に小さい値となっている。
  - ここ数ヶ月は挙動も安定しており建屋重量に対する沈下がほぼ収束しつつある。
- これらのことから長期沈下が許されない今回のようなケースの地盤改良において、本施工方法が有効であることが確認された。

### 5. 最後に

当工事における検討段階から本工事におきまして御助言や御指導いただきました関係各位に深く感謝いたします。

#### 参考文献

- [1] 近藤ら(2002)：礫質材料のクリープ特性と長期沈下特性、第37回地盤工学研究発表会、pp.609-610。  
 [2] 姫野ら(2002)：礫質土を用いた高盛土の圧縮沈下挙動、土木学会年次学術講演会講演概要集第3部、Vol.57、pp.1629-1630