

E/amura

# 平成14年度研究発表会

## 講演論文集

2002年10月31日～11月1日

香川県県民ホール

日本応用地質学会

〒101-0062 東京都千代田区神田駿河台 2-3-14

お茶の水桜井ビル 4F

TEL (03)3259-8232

## 2.4 スメクタイト含有破碎帯の膨潤特性と隆起予測

Swelling characteristic and upheaval forecast of smectite-bearing fault gouge

○田村 栄治 (株四電技術コンサルタント)

Eiji Tamura (Yonden Consultants Co., Inc.)

浄内 明・松崎 伸一・萩原 英樹 (四国電力株式会社)

Akira Jyonai, Shin-ichi Matsuzaki, Hideki Hagiwara (Shikoku Electric Power Co., Inc.)

### 1. はじめに

四国地方では、御荷鉾緑色岩類や黒瀬川構造帯中の蛇紋岩を源岩とする粘土にスメクタイトが含まれることがあり、トンネル施工時には盤膨れを生じるなど、スメクタイト含有地盤は、土質地質上、問題となる地盤であることが知られている<sup>1)</sup>。しかし、三波川帯の泥質片岩分布域では、スメクタイトが含有される事例として中央構造線に近接する地すべり地において報告例<sup>2)</sup>はあるが、盤膨れが問題となることは稀である。

四国地方、三波川帯の切土岩盤に直接設置されたコンクリート基礎が、基礎掘削以降、最大 57mm 隆起した。造成盤の切り取り深さは 30m の規模であり、基礎の隆起箇所は幅約 20m の泥質片岩破碎帯上に位置する。隆起した基礎周辺で実施した調査、室内試験から、基礎の隆起はトンネルの盤膨れなどで問題となるような膨潤性の粘土鉱物であるスメクタイトが多く含有されていることが主要な原因であることが分かった。

本論では、破碎帯地盤の室内試験、原位置試験によって、破碎帯の膨張特性を解明し、FEMによる隆起予測解析の結果、およびスメクタイトの生成要因について報告する。

### 2. 基礎の隆起概要

隆起基礎は長辺 20m、短辺 8m、厚さ 1m の長方形の鉄筋コンクリート構造である。切土造成、基礎設置後 4 年で破碎帯が厚く分布する南東側で約 57mm、薄く分布する北西側で約 18mm の隆起を生じた (図-1)。

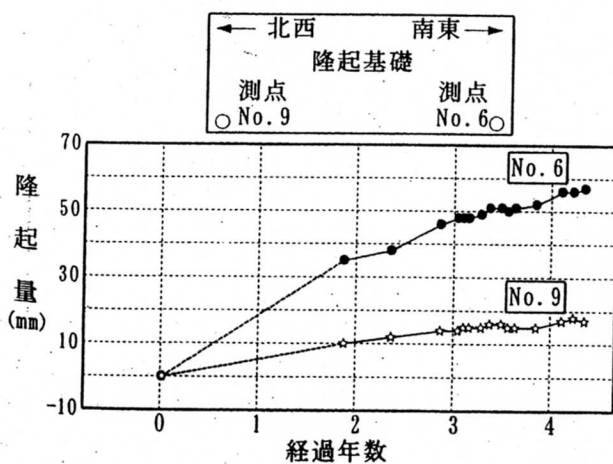


図-1 基礎隆起の経時変化

### 3. 隆起基礎の地質

隆起基礎は四国地方、三波川帯南縁の主に泥質片岩分布域に位置する。隆起基礎の地盤は、切り取り深さ 30m の切土地盤で、掘削時の記録、ボーリング調査、トレンチ調査によって、泥質片岩と一部塩基性片岩の破碎帯からなり、基礎の隆起箇所は幅約 20m の泥質片岩破碎帯に一致している (図-2)。

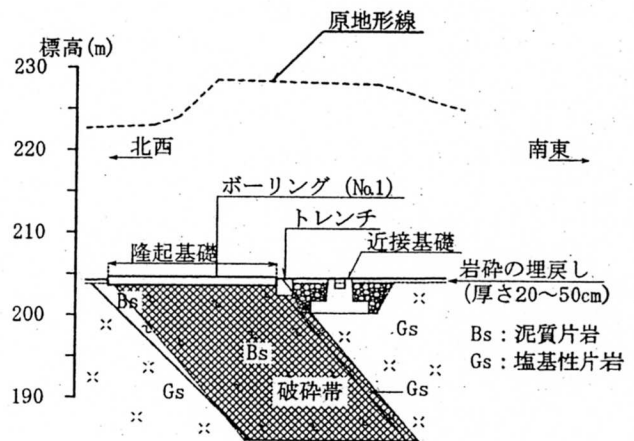


図-2 地質断面図

破碎帯は基礎の長手方向にほぼ直交する  $N60^\circ E$  の走向で分布し、南東側へ 50 度傾斜している。基礎部における破碎帯の鉛直方向の厚さは南東側で最大約 20m である。

泥質片岩の破碎帯は源岩色の黒灰色を呈し、電研式岩盤分類の D 級岩盤に相当する。

### 4. 各種試験結果による地盤評価

ボーリング、トレンチ調査によって、隆起基礎の地盤を構成する泥質片岩破碎岩、塩基性片岩破碎岩について、現場試験・室内試験を行い、破碎帯の物理・力学特性とともに膨潤特性を調査した。

#### ① 破碎帯の物理・力学特性

破碎帯粘土は、土粒子の密度 (比重)  $2.76g/cm^3$ 、単位体積重量  $22.6 \sim 23.1kN/m^3$ 、含水比 6~10%、粘土分含有率 13~48%、塑性指数 12~27% の砂質粘土ないし粘土質砂からなる。

孔内水平載荷試験による破碎帯の変形係数は、 $14 \sim 85MN/m^2$  と小さい。一方、破碎帯を取り巻く塩基性片岩は堅硬であり、その変形係数は  $860 \sim 1,560MN/m^2$  と大きい。

表-1に破碎帯地盤の試験結果とトンネルの膨潤判定の指標を比較して示す。

表-1 破碎帯地盤の試験結果と膨張圧発生指標

試験項目	泥質片岩 破碎帯	膨張圧発生 の指標 <sup>a</sup>
	自然含水比 (%)	6~10
塑性指数	12~27	25 以上
2 $\mu$ m 以下粒子の含有率 (%)	14~42	20 以上
スメクタイト含有率 (%)	10~27	20 以上
CEC 値 (meq/100g)	1.6~13	20 以上
変形係数 (MN/m <sup>2</sup> )	14~85	780 以下
吸水膨張率 (%)	1.5~11	20 以上
吸水膨張応力 (KN/m <sup>2</sup> )	37~138	—

\*吉川(1986)<sup>3)</sup>に加筆

### ② 破碎帯の透水性と地下水

破碎帯の透水係数は  $3.81 \times 10^{-7} \sim 1.15 \times 10^{-6} \text{cm/sec}$  と小さく、破碎帯は難透水地盤である。トレンチ掘削時には近接基礎の埋め戻し土と破碎帯との境界から湧水が認められ、埋め戻し土の箇所が地下水貯留槽となっている。また、ボーリング孔を利用した破碎帯中の地下水観測では、水位は深度 0.5~1 m 程度と浅い位置に観測され、スメクタイト含有破碎帯が吸水膨張し易い地下水条件にある。

### ③ 破碎帯に含有されるスメクタイト

破碎帯の水ひ試料 (2 $\mu$ m 以下の粘土試料) を用いて、X線回折により粘土鉱物の定性分析、亜鉛を指標とした内部標準法による定量分析を行った。

スメクタイトは、泥質片岩破碎帯で 10~15%、南東端に付随する塩基性片岩破碎帯で 27% 程度含有されている。ボーリング Na 1 孔の深度 18m 間の X線回折結果では、泥質片岩破碎帯のスメクタイト含有率は深度方向への変化がほとんどなく、源岩色の破碎岩に一樣に含有されている (図-3)。また、針鉄鉱などの風化鉱物は認められない。

### ④ 破碎帯の吸水膨張圧・膨張率の特性

吸水膨張圧・膨張率は、地盤工学会基準案 JGS2121-1998 の『岩石の吸水膨張試験方法』に従い、ボーリングコア、ブロックサンプルを直径 6 cm、高さ 2 cm に試料整形し、不攪乱試料の試験によって求めた。

吸水膨張応力は、泥質片岩破碎帯で 37~66KN/m<sup>2</sup>、塩基性片岩破碎帯で 96~138KN/m<sup>2</sup> であった。吸水膨張反応はいずれも浸水後即時に発生し、ほぼ 1 時間で終息し、強制湿潤状態では吸水膨張反応が急速に発生していることが分かる (図-4)。

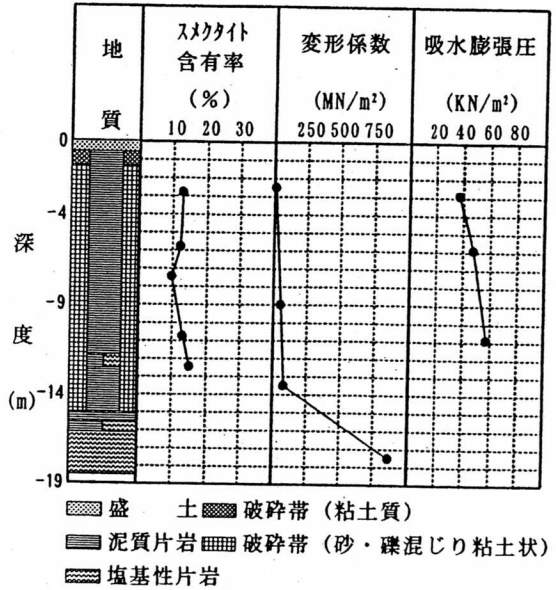


図-3 泥質片岩破碎帯に含まれるスメクタイトの深度変化

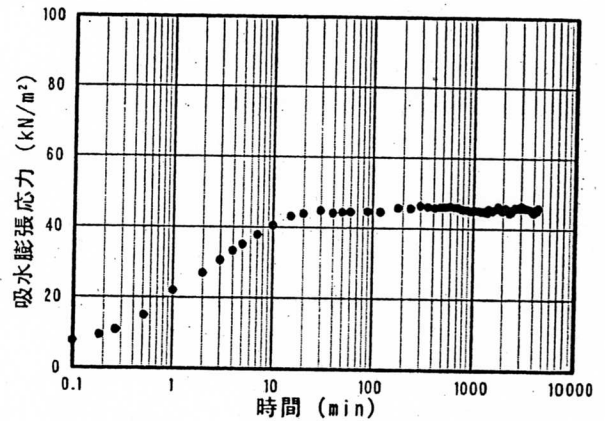


図-4 泥質片岩破碎帯の吸水膨張圧試験例

スメクタイト含有率と最大吸水膨張応力の間には、一定の関係が認められ、図-5に示すように、スメクタイト含有率の増加とともに吸水膨張圧が増大している。

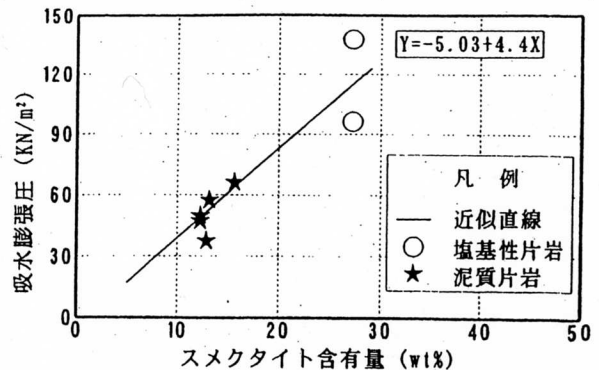


図-5 スメクタイト含有量と吸水膨張圧

吸水膨張率試験では、載荷荷重に応じた膨張率を求めるため、試料を荷重0、25、49、98kN/m<sup>2</sup>で圧密し、載荷状態で強制湿潤させ、膨張率の測定を行った。泥質片岩破碎帯の吸水膨張率は、載荷荷重0~98kN/m<sup>2</sup>下で0~11%であり、載荷荷重と吸水膨張率には図-6に示す負の相関が認められ、双曲線で近似すると試験値との整合が良い。

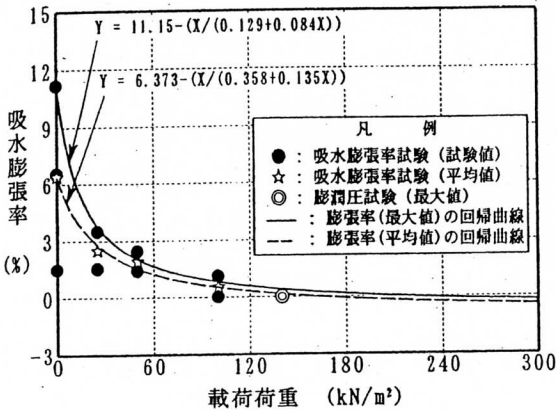


図-6 載荷荷重-吸水膨張率の関係図

### 5. 地盤隆起の要因

本地点の隆起の要因は以下のようにまとめられる。

- 1) 隆起したコンクリート基礎は幅 20mの幅広い破碎帯上に位置し、破碎帯にはスメクタイトが 10~15%程度含有され、膨張率で 1.5~11%、膨張圧で 37~138kN/m<sup>2</sup>の膨潤能力を有している。
- 2) 切土による上載荷重の除去により、潜在化していた吸水膨張能力が発現し易くなった。
- 3) 泥質片岩破碎帯の変形係数は 14~85MN/m<sup>2</sup>程度と小さい。一方、破碎帯周辺の塩基性片岩は硬質岩盤からなり、その変形係数は 860~1,560MN/m<sup>2</sup>と大きい。したがって、破碎帯で吸水膨張が生じた場合、変位は側方より上方へ現われ易い。
- 4) 地下水位は深度 1 mより浅い位置を変動し、吸水膨張反応が発生しやすい地下水条件下にあったと評価される。

### 6. 二次元FEM解析と測量データによる隆起予測

二次元FEM解析により初期地山状態、地盤の掘削後、基礎設置後の各段階の応力・変位解析を実施した。

解析では、吸水膨張による膨潤を熱膨張と見なし、熱応力解析を実施した。破碎帯の膨潤は地盤の掘削直後から始まるものとし、膨張率は掘削解析による地盤内応力をもとに図-6に示す載荷荷重-吸水膨張率の関係図を用いて要素ごとに設定した。

基礎設置後からのFEM解析による最終隆起予測量は、基礎の北西端で22mm、南東端で122mm、ブロック内の南東寄りでも最大141mmで、相対的に南東側で多く隆起す

る傾向を示した(図-7)。なお、FEM解析による隆起予測結果を検証するため、CCDカメラを用いた地中変位測定<sup>4)</sup>による隆起形態とFEM解析結果を比較し、図-8に示す。

図-8によれば、隆起発生深度はFEM解析で深度6m、地中変位測定で深度6~8mであり、両者は整合している。深度3m以浅ではFEM解析値と地中変位測定結果とに相違が認められるが、これは地中変位測定段階では表層部の吸水膨張反応が終息してからの計測であるためと評価される。

また、レベル測量による4年間の隆起計測データを用いて隆起予測を行った。伊藤(1980)<sup>5)</sup>はスメクタイトの膨潤予測について、室内実験から式(1)の時間依存型の指数関数(収束型関数)を提案している。本地点においても式(1)は測量データを良好に近似している(図-9)。

$$\delta = \delta_{\infty} (1 - e^{-t/\tau}) \dots \dots \dots (1)$$

- $\delta$ : 現在の隆起量 (mm),
- $\delta_{\infty}$ : 収束隆起量 (mm),
- $t$ : 現在の経過時間 (日),
- $\tau$ : 遅延時間 (日)

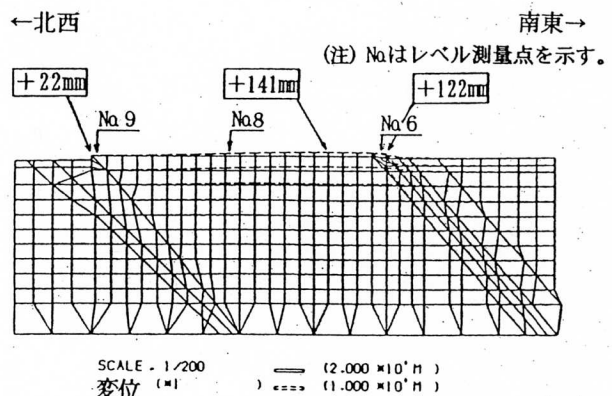


図-7 FEM解析による隆起予測

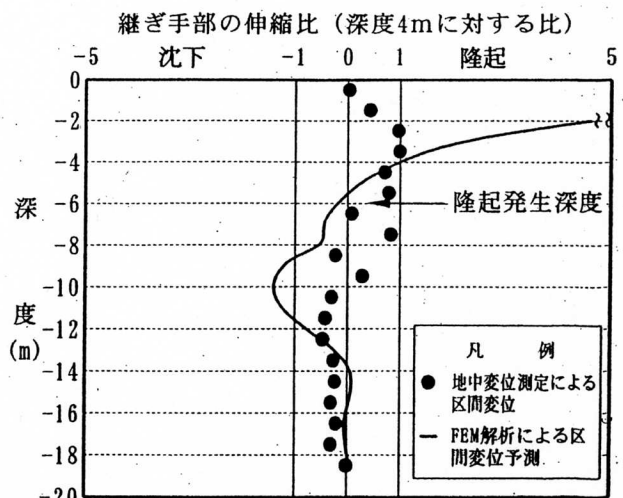


図-8 FEMの隆起予測と地中変位測定による変位形態の比較

二次元FEM解析による隆起予測とレベル測量にもとづく最終隆起量の予測では、隆起量が南東側で大きく北西側で小さく、両者の変位傾向は整合している。

実測点No.6, 8, 9の隆起予測値は、FEM解析で22~122mm, レベル測量による予測値は30~93mmであり、FEM解析値が大きめとなっている。これは、FEM解析において安全側の予測を得るため、載荷荷重-吸水膨張率曲線を大きめに設定したためである。

水変質によりスメクタイトを含有することがある。スメクタイトの膨潤による基礎の変形や、強度低下によるのり面の崩壊・すべりの懸念があることから、今後、大きい破砕帯に基礎を設置する場合には、沈下とともに膨潤に対する検討も必要である。

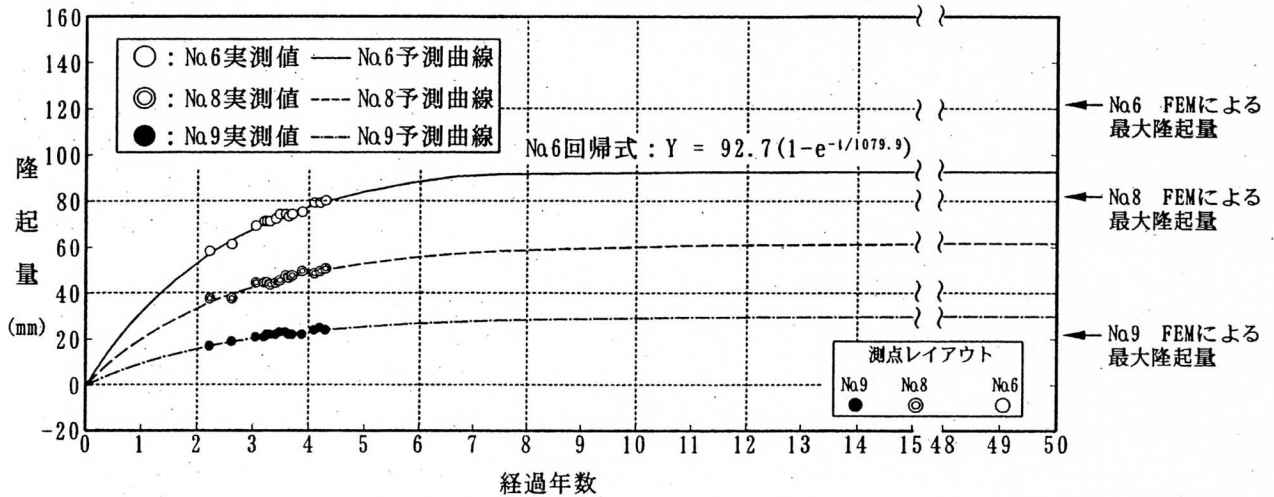


図-9 測量データによる隆起量予測の回帰

### 7. スメクタイトの生成に関する考察

スメクタイトは一般に、風化と熱水変質により生成されると考えられている<sup>6)</sup>。本地点の含有破砕帯は、X線回折で風化鉱物が認められず、未風化域においても深度方向にはほぼ同じ割合のスメクタイトを含有している。

田村他(2001)<sup>7)</sup>は、四国中央構造線沿いの中期中新世熱水変質作用に関連して、1)四国中央構造線沿いの破砕帯には、スメクタイトを伴う断層ガウジと伴わない断層ガウジがあり、2)スメクタイトを伴う断層ガウジは、中期中新世の貫入岩に伴う熱水変質によって形成された可能性が高いこと、を報告している。さらに、長谷川他(2001)<sup>8)</sup>は、中期中新世の熱水変質作用は中央構造線のみでなく、四国外帯にも14Ma花崗岩岩体が伏在することから、地質帯を問わず四国地方に広く熱水変質帯が存在する可能性を指摘している。

以上から、当サイトのスメクタイトの成因は、大きな破砕帯に沿って中期中新世の熱水変質が及んでいたためと考えられる。

### 8. おわりに

レベル測量データとFEM解析による隆起予測とを組み合わせることにより、信頼性の高い隆起予測を行うことができた。本報告事例のように規模の大きい破砕帯には、熱

### 引用文献

- 1) 土木学会 (1999) : 軟岩評価, p131
- 2) 八木他(1995) : 中央構造線上の断層破砕帯における一地すべりの特性, 土木学会四国支部講演概要集
- 3) 吉川(1986) : 軟岩地山におけるトンネル施工(1), 土と基礎, 34-6, p.69-76
- 4) 松元他(2000) : 画像処理技術を取り入れた地中変位計による室内傾斜実験について, 土木学会第55回講演会要旨
- 5) 伊藤(1980) : 土の膨潤挙動からみた地盤災害, 土と基礎, 28-2, p.31-38
- 6) 白水 (1998) : 粘土鉱物学, 朝倉書店, p157
- 7) 田村・長谷川・大野(2001) : 四国中央構造線沿いの中期中新世熱水変質作用, 日本地質学会講演要旨, p. 168
- 8) 長谷川・田村・大野・鶴田(2001) : 四国の中央構造線沿いの中期中新世熱水変質作用, 日本地質学会中国四国支部, 平成13年度研究発表会論文集, p. 7-12