

(20) 地下空洞の地震時安定性に関する研究 — 伊豆半島東方沖群発地震による空洞のひずみ —

榑間組 技術研究所 正会員 ○新井伸夫
榑間組 技術研究所 正会員 脇田和試
榑間組 技術研究所 正会員 平澤賢治

Study on the Stability of Underground Structures during Earthquakes
- Strains of the Cavern during Earthquakes in the 1989 Earthquake Swarm
Occured Off the East Coast of the Izu Peninsula -

Nobuo ARAI, Technical Research Inst., Hazama-Gumi, LTD.
Kazushi WAKITA, Technical Research Inst., Hazama-Gumi, LTD.
Kenji HIRASAWA, Technical Research Inst., Hazama-Gumi, LTD.

Abstract

In order to investigate the behavior of a rock cavern during earthquakes, earthquake observations have been carried out in the Shin Usami Tunnel along the JR's Ito Line.

In July 1989, the earthquake swarm occurred off the east coast of the Izu Peninsula. The epicentral region was very near to the observation site, so many records were obtained.

On the other hand, the simplified method for estimating the strain of a cavern during earthquakes had been formerly proposed by us. From the comparison between the observed strain and the strain estimated by the proposed method, the adequacy of the method for near-field earthquakes was suggested.

1. まえがき

岩盤内空洞の地震時安定性を評価するためには、空洞および周辺岩盤の地震時挙動を観測や解析により把握し、空洞の地震時ひずみを定量的に予測、評価する必要がある。そのため筆者らは、JR伊東線新宇佐美トンネルにおいて東日本旅客鉄道株式会社および(財)鉄道総合技術研究所と共同で1983年より地震観測を実施してきている。

1989年7月には伊豆半島東方沖で群発地震が発生し多数の観測記録が得られたが、それらはこれまでの群発地震に比べ震源が浅く、さらに震央距離が5km程度ときわめて近距離のものであった。そのため新宇佐美トンネルで観測された地震動は、岩盤内の加速度振幅が最大で約50galと大きく、短周期成分を多く含むという特徴を持っていた。

本報は、それら観測記録の特徴について述べ、その結果を用いて筆者らが既に発表した地震時の空洞ひずみ予測手法¹⁾の近距離地震への適用性を検討したものである。

2. 観測の概要

2.1 トンネルの概要と観測方法

伊東線新宇佐美トンネルは、延長3000mの単線トンネルで、内空断面は内径6mの円形、コンクリート覆工

厚は30cmとなっている。主な観測は、山の被り厚さが約260mのトンネル中央部100m区間で実施している。観測区間は、主に変質玄武岩から成っており、P波速度(V_p)およびS波速度(V_s)はそれぞれ2.3~3.2km/secおよび1.1~1.6km/secである。図-1にシステム全体の地震観測計器配置図を示し、図-2にトンネル覆工部に取り付けたひずみ計および岩盤内に埋設したひずみ計の配置図を示す。なお、トンネル覆工部は12mピッチに打ち継ぎが設けられており、S-1~S-8とS-9、S-10は異なるエレメントに取り付けられている。

加速度計はサーボ型で、測定振動数範囲は0.1~30Hz、最小分解能は0.01galである。また、ひずみ計は差動トランス型で、トンネル覆工部、岩盤内とも測定振動数範囲、最小分解能はそれぞれ0.1~30Hz、 0.03×10^{-6} となっている。加速度計A-1~A-8の測定成分は3成分(X,Y,Z)で、X方向はトンネル軸方向(N13°23'35"E)、Y方向は軸直角方向、Z方向は鉛直方向である。

地震波の集録はデジタルで行い、サンプリング周波数は100Hzである。また、データ集録システムは、A-6地点(システム最下点)の3成分のうち1成分以上が1galをこえたときにスタートする(遅延時間3sec)よう設定されている。

2.2 1989年7月伊豆半島東方沖群発地震の概要

1989年6月30日から始まった群発地震活動は、7月4日から急激に活発となり7月9日にはM5.5の地震(本群発地震活動中最大)が発生した。今回の群発地震の震央域と観測点の位置を図-3に、新字佐美トンネルの観測システムにおいてトリガーのかかった地震の時系列を図-4に示す。

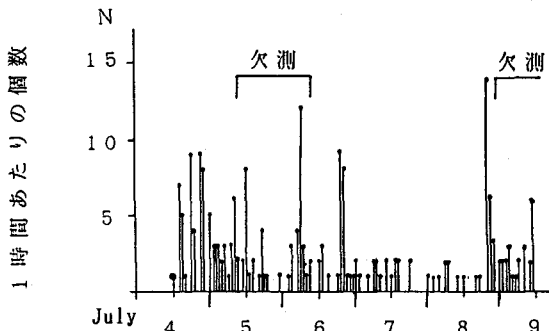


図-4 新字佐美トンネルでトリガーのかかった地震(トリガーレベル1gal)

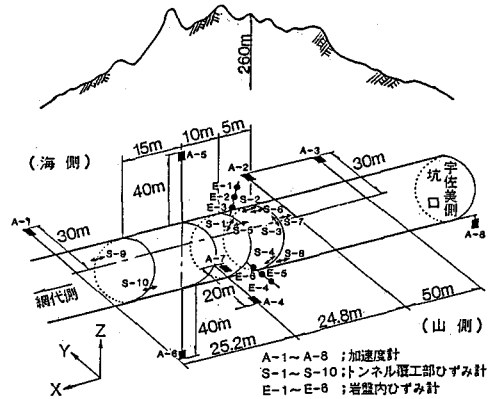


図-1 地震観測計器配置図

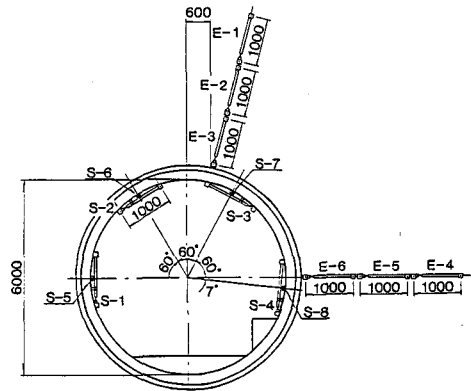


図-2 トンネル覆工部および岩盤内ひずみ計配置図
S-5~S-8: トンネル軸方向に設置

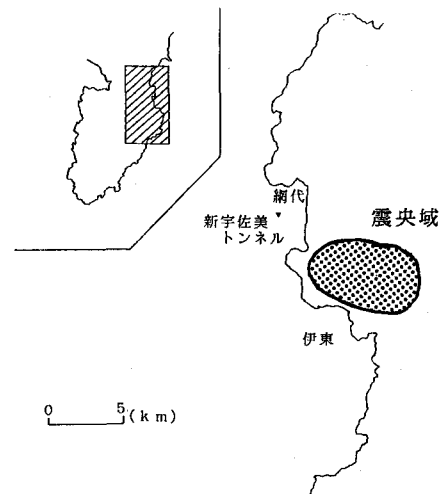
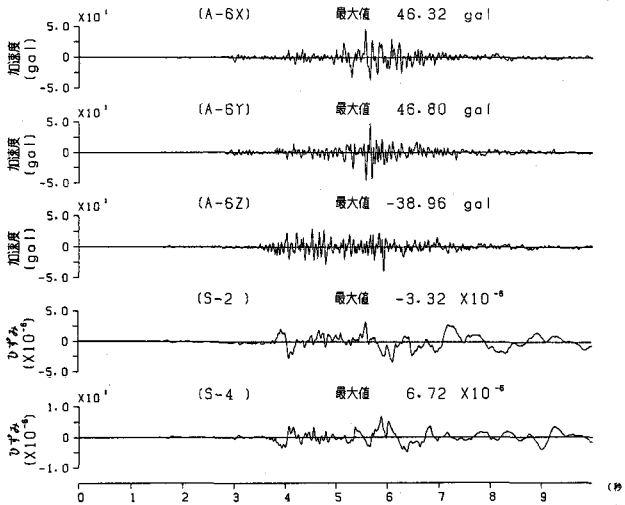


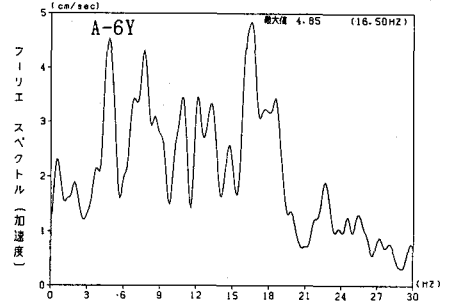
図-3 震央域と観測点の位置

この群発地震活動域は、大局的には1970年代後半から活発になった伊豆半島東方沖の一連の群発地震活動の発生域とほぼ同じ位置である。ただし、詳細にみると震源域は従来の発生域の北西部にあたり、震源が陸地に近く、さらに浅かったため伊東市街で被害が生じた。

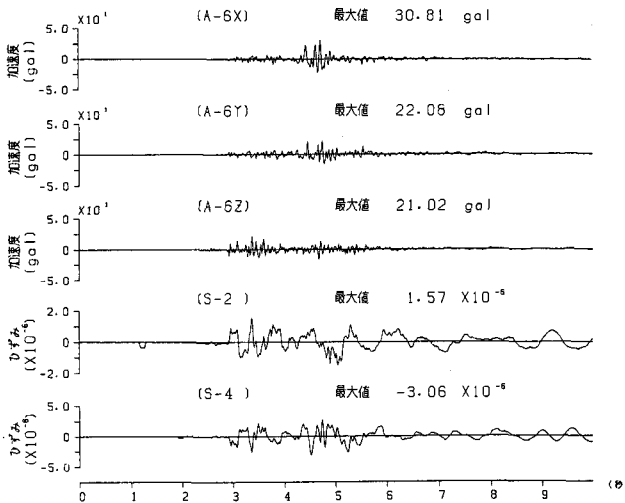
新宇佐美トンネルで観測された地震動の加速度振幅も従来得られていた記録より大きく、最大のものは、7月7日0時1分に発生したマグニチュード5.2の地震により得られた岩盤内(A-7・X成分)49.7gal、坑口(A-8・X成分)74.1galであった。7月7日0時1分(M5.2)と同日13時39分(M4.8)に発生した地震の記録のうち、A-6(トンネル直下40m地点)での加速度波形3成分とトンネル覆工部の周方向および軸方向ひずみ波形、加速度記録のフーリエスペクトルを図-5に示す。



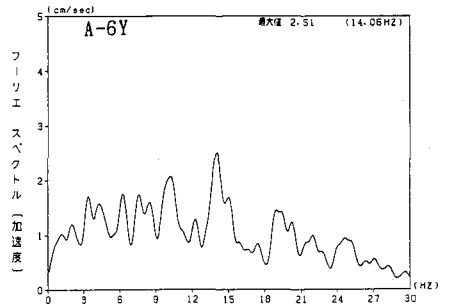
a) 加速度、ひずみ時刻歴波形
(7月7日0時1分:M5.2)



c) 加速度フーリエスペクトル
(7月7日0時1分:M5.2)
(ハニング・ウィンドウ10回)



b) 加速度、ひずみ時刻歴波形
(7月7日13時39分:M4.8)



d) 加速度フーリエスペクトル
(7月7日13時39分:M4.8)
(ハニング・ウィンドウ10回)

図-5 観測記録の例

3. 地震時空洞覆工部ひずみ

地下空洞等、地中構造物の耐震安定性を検討する場合、まず第一に対象とするのは近距離で発生する大地震である。地震時には地中構造物は地盤と一体となって変形するため、その耐震安定性には地盤の変形挙動が直接影響し、構造物の形状寸法と地震波の波長を考え合わせれば、短周期大振幅の地震波が最も重要な（危険な）要素となると考えられるからである。その点から見れば今回の群発地震記録は、地震の規模は小さいものの至近距離で発生したという点で詳細に分析するに足るものであると考えられる。

一方、筆者らは、これまでの主に震央距離20km程度以上の観測結果の分析と境界要素法を用いた応答解析に基づいて空洞覆工部周方向ひずみと岩盤内粒子速度の関係を示した²⁾。さらにその関係をもとに、岩盤内粒子速度から地震時空洞覆工部周方向ひずみを予測する手法を提案し、軸方向ひずみ挙動の解明を試みてきた¹⁾。

そこで、今回の観測結果について、空洞覆工部のひずみの最大値を従来と同様な形で整理し、前報¹⁾で提案した予測手法の近距離地震への適用性を検討した。

3.1 空洞覆工部周方向ひずみ

岩盤内粒子速度と空洞覆工部周方向ひずみの関係を図-6、-7に示す。ここで岩盤内粒子速度最大値とは、観測システム最下点(A-6)での地震動速度振幅の最大値のことである。また、図中の周方向ひずみ予測値とは、境界要素法による調和波入力解析結果に基づいて岩盤内粒子速度から予測した空洞覆工部周方向ひずみのことである¹⁾。

これらの図から、空洞覆工部周方向ひずみは岩盤内粒子速度と良い相関があることがわかる。さらに、側壁部周方向ひずみについては、従来提案した予測式が今回得られた近距離地震の観測結果（短周期成分を多く含む）を良く説明していることがわかる。クラウン部については、予測値は観測値に比べ若干大きめの値を与えている。

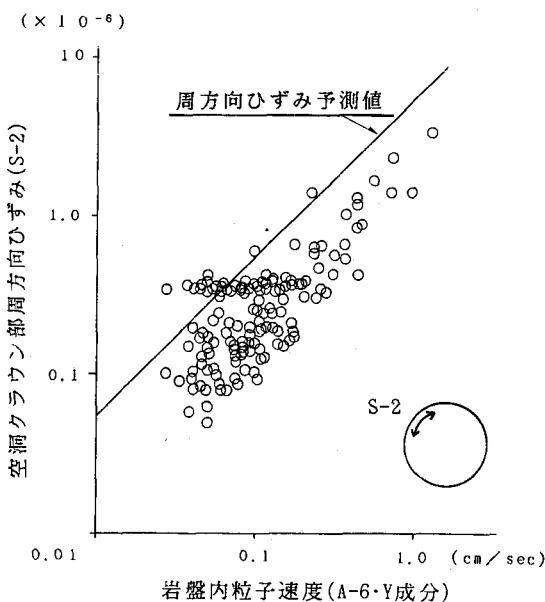


図-6 岩盤内粒子速度(A-6・Y成分)と空洞クラウン部周方向ひずみ(S-2)

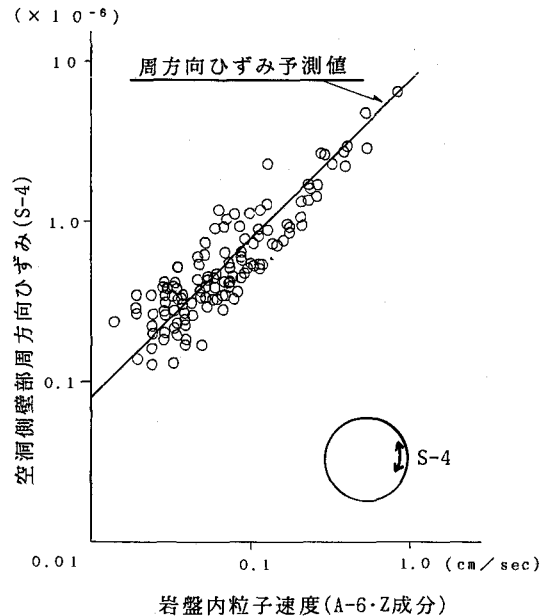


図-7 岩盤内粒子速度(A-6・Z成分)と空洞側壁部周方向ひずみ(S-4)

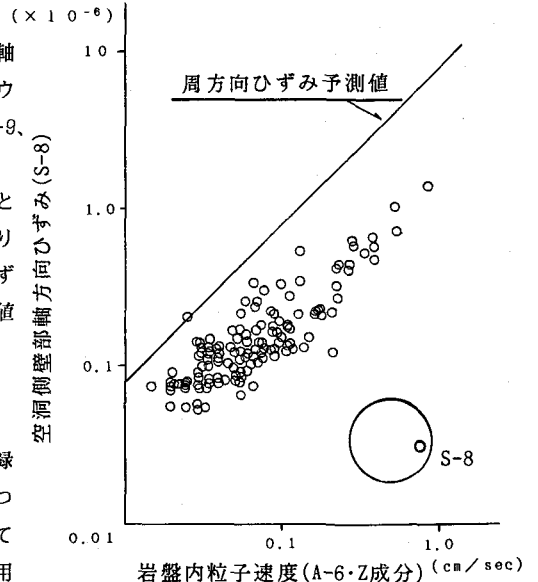
3.2 空洞覆工部軸方向ひずみ

空洞側壁部について、岩盤内粒子速度と空洞覆工部軸方向ひずみの関係を図-8に示す。また、側壁部、クラウン部の周方向ひずみに対する軸方向ひずみの関係を図-9、-10に示す。

これらから、空洞軸方向のひずみも岩盤内粒子速度と良い相関があること、軸方向ひずみは周方向ひずみよりも小さい値をとる傾向にあることがわかる。軸方向ひずみの値をもとに回帰した直線は、周方向ひずみの予測値に対し、側壁部で0.28、クラウン部で0.17である。

4.まとめ

1989年7月に発生した伊豆半島東方沖群発地震の記録をもとに、近距離地震動による空洞覆工部のひずみについて分析、検討した。その結果、先に筆者らが提案していた地震時空洞ひずみの予測式は、近距離地震にも適用可能であることがわかった。



岩盤内粒子速度(A-6・Z成分) (cm/sec)
図-8 岩盤内粒子速度(A-6・Z成分)と空洞側壁部軸方向ひずみ(S-8)

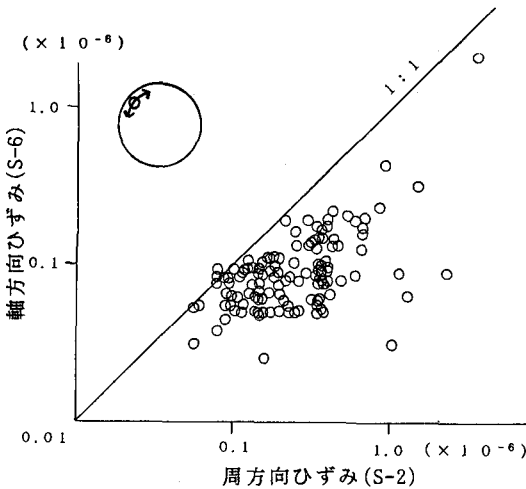


図-9 クラウン部周方向ひずみ(S-2)と軸方向ひずみ(S-6)

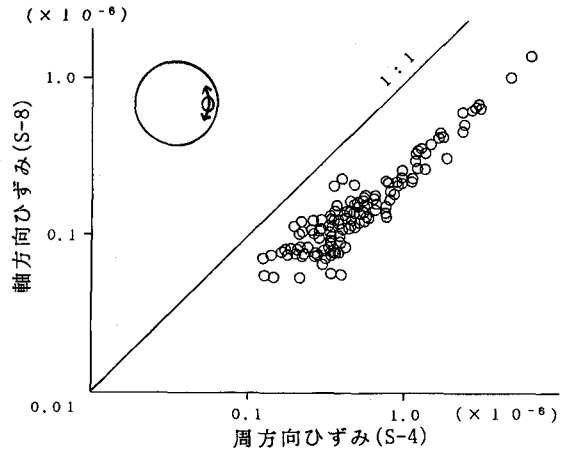


図-10 側壁部周方向ひずみ(S-4)と軸方向ひずみ(S-8)

5.あしがき

今後は、新宇佐美トンネルでの観測を継続することで、より大きい規模の地震の記録を収集し、空洞の地震時ひずみの検討をより詳細にすすめていく必要がある。

なお、本観測は、東日本旅客鉄道株式会社および(財)鉄道総合技術研究所と共同で実施しているものであり、観測結果の公表を快くお許しいただいた関係各位に感謝致します。

<参考文献>

- 1)新井、辻田、脇田；地下空洞の地震時安定性に関する研究 —地震時空洞周方向ひずみと軸方向ひずみ— 第21回岩盤力学に関するシンポジウム、pp.76-80、1989.
- 2)山口、辻田、脇田、新井；山岳トンネルにおける空洞および周辺岩盤の地震時挙動 —境界要素法を用いた空洞ひずみと岩盤内粒子速度の評価—、第20回岩盤力学に関するシンポジウム、pp.136-140、1988.