

(49) 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

—空洞のひずみと周辺岩盤の挙動の関係について—

間組技術研究所 正会員 山口 靖紀

〃 〃 辻田 満

〃 〃 ○脇田 和試

1. まえがき

高耐震構造物の地下立地の検討に際し岩盤内空洞の地震時安定性を論ずる場合には、空洞の地震時ひずみと周辺岩盤の挙動の関係を把握し、空洞の地震時ひずみを定量的に予測する必要がある。しかしながら、現状では不明な点も多く、この種の問題を明らかにするための観測データも不足している。

筆者らは、国鉄と共同で1983年7月より実施している日本国有鉄道・伊東線新宇佐美トンネルにおける地震観測で得られたデータに基づいて、空洞および周辺岩盤の地震時挙動の検討を行い、空洞の変形は周辺岩盤の挙動に左右され、せん断波の上昇にともなうせん断変形が卓越していることを明らかにしてきた。^{(1),(2)}

本報では、さらに地震時ひずみの観測データに着目して空洞周辺岩盤および空洞覆工ひずみ挙動について検討を行い、特に、応答の最大値、波形特性およびスペクトル特性に注目して述べる。

2. 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の円形断面でコンクリートの覆工厚は30cmとなっている。主な観測は山の裾り厚さが約260mの山岳中央部100m区間で実施している。観測区間は主に変質玄武岩で構成されており、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となっている。図-1に地震観測計器全体の配置図を示し図-2にトンネル覆工部に取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ピッチに打ち継目が設けられており、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(SA-355)で、測定振動数範囲は0.1~30Hzで、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(DS-100)、岩盤内(DIS-300)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。

地震波の集録はデジタル地震波集録装置(SANTAC-120D-64)で行っている。集録装置の入力フィルターはDC~30Hzであり、サンプリング時間は10msec(100Hz)となっている。なお、本観測システムの座標系におけるX方向はトンネル軸方向(N $13^{\circ}23'35''$ E)、Y方向は軸直角方向(S $75^{\circ}36'25''$ E)、Z方向は鉛直方向である。

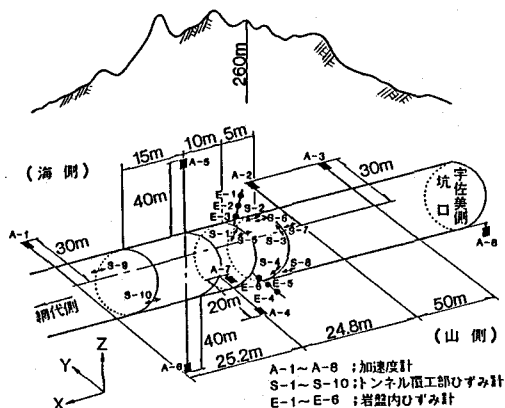


図-1 地震観測計器配置図

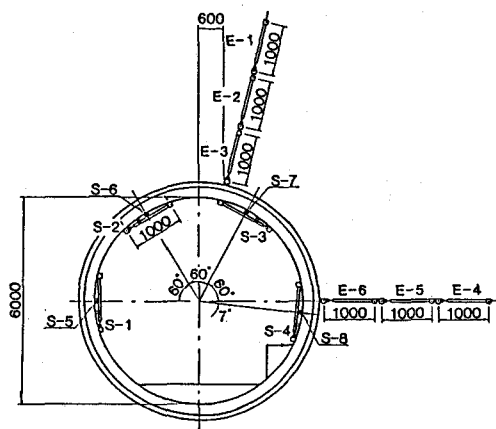


図-2 トンネル覆工部および岩盤部ひずみ計配置図(網代側から見た断面)

3. 観測波形とパワースペクトル

1983年7月より地震観測を開始して2年半を経過する中で群発地震(1984年9月伊豆半島東方沖群発地震35個)を含む54個の地震が観測されている。

図-3および図-4は1983年8月8日神奈川・山梨県境で発生したM6.6、震央距離51.7km、震源深さ22kmの記録の内、空洞に最も近い周辺岩盤A-7の時刻歴波形とそのパワースペクトルである。図-3にはそれぞれX, Y, Zの3成分の加速度, 速度, 変位を示すもので、図-4はそのパワースペクトルを示すものである。0~8.0秒程度が初動部でP波が主体となっており8.0~15.0秒程度が主要動部でS波が主体となっている。なお、加速度記録は観測波形であり、速度および変位波形については観測波形を数値積分をして各々に変換したものである。

図-5は同地震記録の内、E-1~E-6の岩盤ひずみ波形およびS-1~S-10の空洞覆工ひずみ波形を空洞に最も近い周辺岩盤A-7のX, Y, Z方向の速度波形と対比して示したものである。また、図-6はそれら各波形のパワースペクトルを示すものである。これより、岩盤ひずみ、岩盤覆工ひずみおよび粒子速度の各々は波形状およびスペクトル形状とも非常によく似ている事が判る。

図-5のS-2とS-3は空洞覆工ひずみ計の内アーチ部60°の相対する2点に取り付けられているものだが、両者の波形は大きさおよび形状とも似ている事が判る。ただし、その位相は常に反転している。また空洞覆工ひずみの位相は周方向と軸方向で常に反転している。なお、これらの傾向は他の観測記録においても共通したものである事を確認している。

4. 空洞覆工ひずみと地震動の関係

空洞覆工ひずみと粒子速度が波形およびスペクトルとも性状がよく一致していることは既に図-5および図-6に示した通りである。そこで、本サイトで観測された記録の内、空洞覆工ひずみおよび空洞に最も近い周辺岩盤A-7の粒子速度の最大値の関

係を調べてみた。図-7~図-10は各々の最大値の相関の関係を示すもので、図-7はS-1とA-7Vyの最大値の関係を示し、図-8はS-2とA-7Vyの関係を示すものである。また、図-9および図-10はそ

1983年8月8日神奈川・山梨県境地震
(M=6.0, Δ =51.7km) - A-7 -

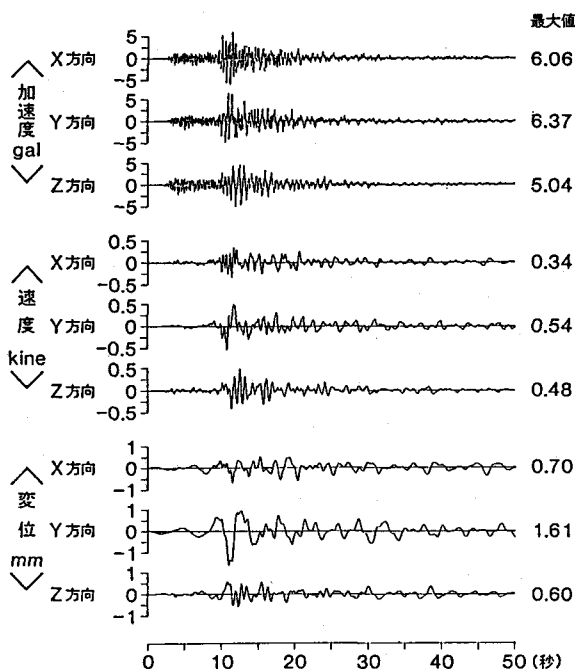


図-3 空洞周辺岩盤の時刻歴波形

1983年8月8日神奈川・山梨県境地震
(M=6.0, Δ =51.7km) - A-7 -

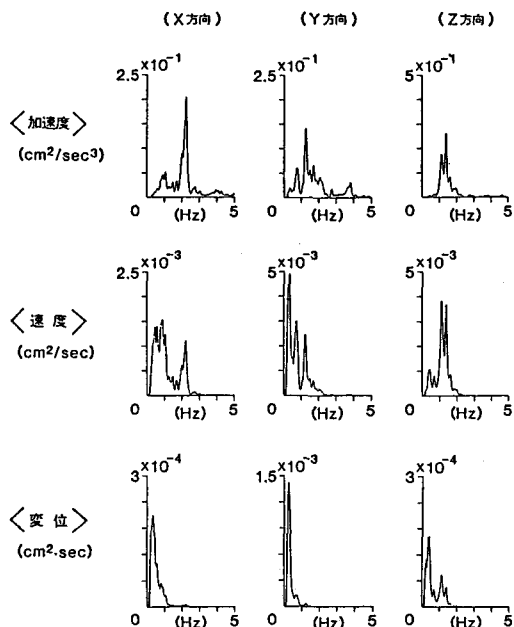


図-4 空洞周辺岩盤のパワースペクトル

れぞれS-2とS-3, S-6とS-7の関係を示すものである。

これより、空洞覆工ひずみの最大値は空洞周辺岩盤の最大粒子速度の最大値と良い対応を示していることがわかる。また、空洞覆工ひずみは、図-7および図-8に示すようにOwenの式³⁾より算出した岩盤内のせん断ひずみと良い比例関係を示している。なお、Owenの式の適用に当っては、 $V_s = 1.43 \text{ Km/sec}$ とした。¹⁾また、空洞覆工ひずみの内、アーチ部60°の相対する2点の周方向ひずみ波形の最大値はいかなる地震でもほぼ等しい。それに対し、同一地点の軸方向ひずみ波形の最大値は周方向ひずみの対応に比べるとバラツキがみられる。

5. まとめ

地震時ひずみの観測データに着目して空洞周辺岩盤および空洞覆工ひずみ挙動について検討した結果、以下のようにまとめられる。

- ①. 空洞覆工の周方向ひずみは、空洞周辺岩盤の最大粒子速度と強い相関性を示す。
- ②. 空洞覆工部ひずみの内、アーチ部60°の相対する2点のひずみ波形はいかなる地震でもほぼ等しく、また位相は常に反転している。
- ③. 空洞覆工ひずみの位相は周方向と軸方向で常に反転している。
- ④. 空洞覆工ひずみと空洞周辺岩盤ひずみの時刻歴およびスペクトル形状は両者ともよく類似している。
- ⑤. 空洞覆工ひずみは、Owenの式より算出した岩盤のせん断ひずみと良い比例関係を示す。

筆者らは既に観測地震動の波形解析によって空洞の変形はせん断波の上昇にともなうせん断変形が卓越することを明らかにしたが、^{1), 2)} 本検討の結果、空洞の覆工ひずみは空洞周辺岩盤の粒子速度によって予測することが可能であることが判った。

6. あとがき

現在までのところ岩盤の地震時ひずみと空洞の覆工ひずみが同時に直接観測された例はきわめて少ないところから、今後、解析によって、岩盤のせん断ひずみと本観測で得られる岩盤の伸縮ひずみの関係を明らかにする必要がある。

なお、本観測は国鉄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日本国有鉄道

1983年8月8日 神奈川・山梨県境地震 ($M=6.0, \Delta=51.7 \text{ km}$)

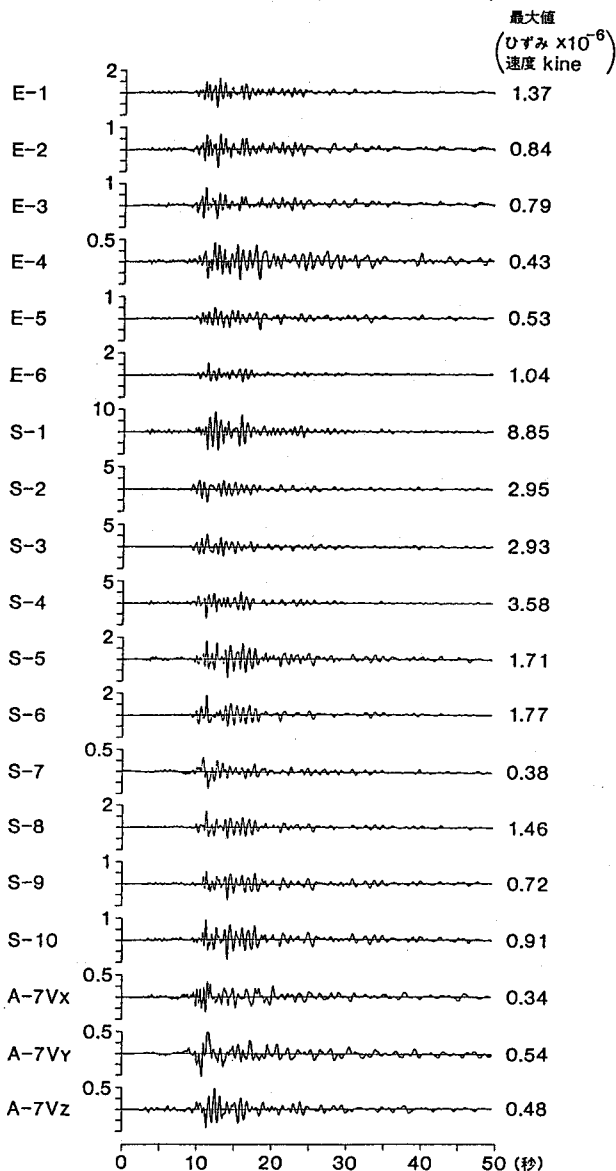


図-5 空洞および周辺岩盤のひずみ波形

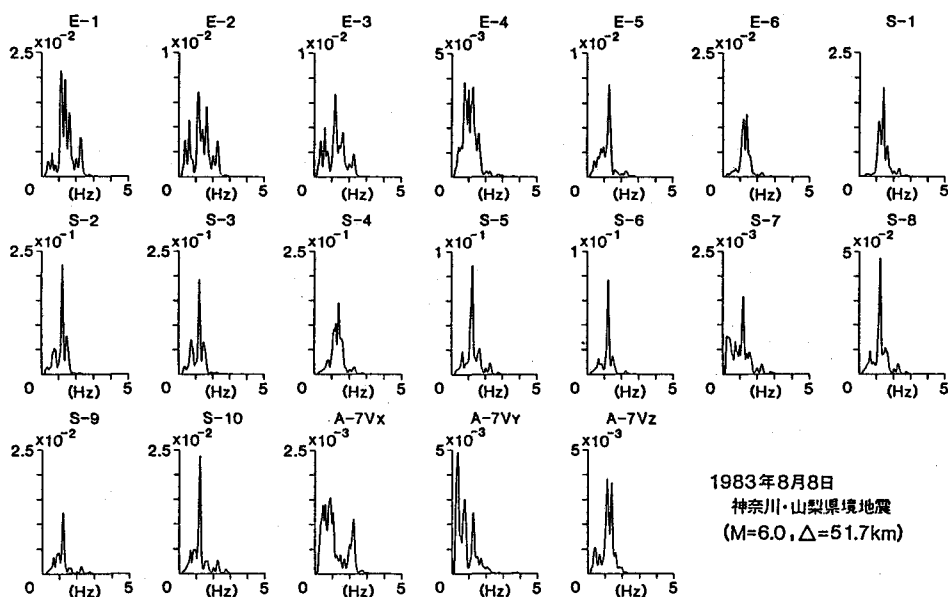


図-6 空洞および周辺岩盤のひずみのパワースペクトル

東京第二工事局および鉄道技術研究所の
関係者各位に感謝いたします。

参考文献

- 1) 中村, 朝倉, 山口, 辻田, 脇田:
山岳トンネルおよび周辺岩盤の地震時挙動-観測記録の波形解析(58年7月~昭和59年9月)-, 第6回岩の力学国内シンポジウム, PP.187~192, 1984年12月
- 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-観測地震動の主軸と三成分特性-, 第17回岩盤力学に関するシンポジウム, PP.126~130, 1985年2月
- 3) Owen, G.N., Scholl, R.E. & Brekke, T.L., Earthquake engineering of tunnels, RETC Proceedings, pp.709-721, 1979

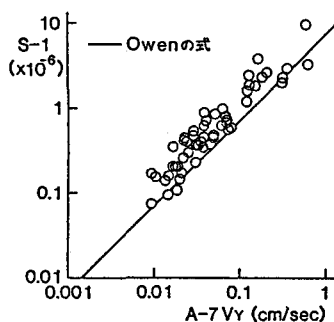


図-7 空洞のひずみと周辺岩盤の粒子速度の関係 (S-1とA-7Vy)

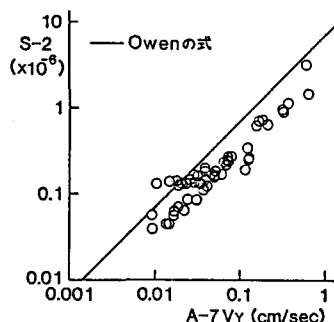


図-8 空洞のひずみと周辺岩盤の粒子速度の関係 (S-2とA-7Vy)

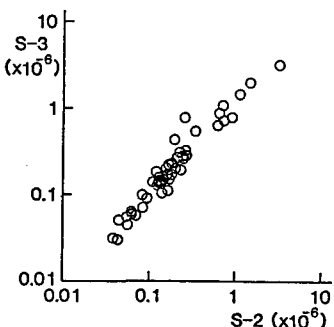


図-9 空洞ひずみ相互の関係 (S-2とS-3)

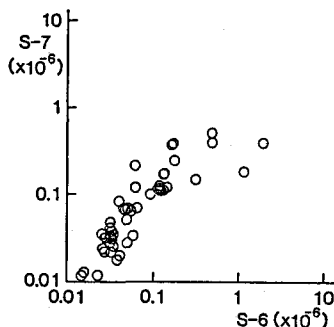


図-10 空洞ひずみ相互の関係 (S-6とS-7)

(49) Seismic Behavior of a Rock Tunnel
-The Relation between the Strain of a Cavern and
the Seismic Behavior of Rock-

Yasuki YAMAGUCHI
Mitsuru TSUJITA
Kazushi WAKITA

(Technical Research Institute, HAZAMA GUMI)

In recent years, new type of structures such as underground nuclear power stations, storage caverns for high level radioactive unclear waste disposal, or oil storage caverns have been planned.

In Japan, for these structures which are to be constructed in the seismic region, reliable seismic design should be achieved based on the observed data.

In order to investigate the behavior of a rock cavern when it is subjected to an earthquake, earthquake observations have been carried out in the Shin Usami Tunnel of JNR's Ito Line, located in Ito City of Shizuoka prefecture.

In this report, the relation between the strain of the cavern and the seismic behavior of rock was investigated based on the observed data. From the investigation, the following results were obtained.

- ① The strong correlation was observed between the maximum circumferential strain of the lining concrete of a cavern and the maximum particle velocity of rock around the cavern.
- ② The maximum absolute values of the strains of the lining concrete at the two points of the crown which exist at opposite side of each other from the center line of the cross section of the tunnel are nearly the same. The phase lag between the two strains is nearly 180 degree.
- ③ The phase lag between the circumferential strain and the longitudinal strain at the same point of the lining concrete is nearly 180 degree.
- ④ The shapes of the time history and the power spectrum of the strain of the lining concrete are similar to those of the strain in rock around the cavern.
- ⑤ The maximum absolute value of the strain of a lining concrete correlates with the maximum absolute value of the shearing strain of rock around the cavern calculated using Owen's equation.