昭和61年11月(生産研究 第38巻 第11号抜刷) Reprinted from "SEISAN-KENKYU" VOL.38, NO.11

> シールド洞道のリング継手の地震時挙動 Dynamic Behaviors of Ring Joint of Shield Tunnels during Earthquakes

田 村 重四郎·桑 原 弘 昌·鈴 木 猛 康 Choshiro TAMURA, Hiromasa KUWABARA and Takeyasu SUZUKI

東京大学生産技術研究所 INSTITUTE OF INDUSTRIAL SCIENCE, UNIVERSITY OF TOKYO

生 産 研 究 505

38 巻 11 号 (1986.11)

> シールド洞道のリング継手の地震時挙動 Dynamic Behaviors of Ring Joint of Shield Tunnels during Earthquakes

田 村 重四郎*·桑 原 弘 昌**·鈴 木 猛 康*** Choshiro TAMURA, Hiromasa KUWABARA and Takeyasu SUZUKI

1. はじめに

シールド洞道の地震時挙動のメカニズムを明らかにす るため、横浜市内に建設された地中送電用シールド洞道

(外径 5100 mm, RC セグメント)において地震観測を実施している。現在までに,昭和 59 年 9 月 14 日長野県西部地震(M=6.8,観測地点における地表の最大加速度 12 gal),昭和 60 年 10 月 4 日千葉・茨城県境で発生した地震

(M=6.1, 同 53 gal)などで, 周辺地盤の加速度, 洞道 のひずみが記録された.

ここでは特に、シールド洞道のリング継手の挙動に注 目し観測記録に基づいて考察を行ったので報告する.

2. シールド洞道の覆工構造

シールド洞道の覆工は、シールド機による掘削の直後 に地山を直接支持して所定の内空を保持する一次覆工 と、その後にその内側をコンクリートでライニングする 二次覆工とに分けられる。一次覆工の施工には、シール ドの内部で、数個に分割された鉄筋コンクリート製また は鋼製等のセグメントと呼ばれるブロックを、ボルトで リング状に組み立てながら各リングを洞道軸方向に結合 させていく方法をとることが多い(図1).このようにし て建設されるシールド洞道は、剛性の高い多数の部材を 継ぎ、組み合わせた構造体であるということができる。



*東京大学生産技術研究所 第1部

**研究生 東京電力株式会社

***受託研究員 ㈱熊谷組

シールド洞道の軸方向の剛性を評価する方法として, 圧縮に対してはセグメントのみが抵抗し,引張に対して は,各リングを結合するリング継手とセグメントとをそ れぞれ等価なバネに置きかえ,これをつないで一様な直 列バネとして等価な剛性を算出する方法がある.

3. 地震観測の概要

(1)シールド洞道の諸元

本シールド洞道の諸元は次のとおりである.

①セグメントリング 外径:5100 mm,

	内径:4550 mm, 分割数:6
②セグメント	桁高:275 mm,幅:900 mm
③ボルト	M 24 (10.9 T), 21本/Ring

(2)地形

観測地付近は、図2に示すように溺れ谷地形をなし ていて幅約80mで南北に長い沖積地盤であり、洞道 はこの地形を斜めに横断している。図3は当該シール ド洞道の軸線に沿う縦断図である。当該地域の表層は、 最大厚さ約20mのN値0~2の比較的均一な沖積 粘性土層で、その下はN値50以上の土丹層になって いる.PS検層によれば、沖積粘土層および土丹層で、 せん断弾性波の伝播速度はそれぞれ約110m/sec お よび750m/sec である。

(3)測定

洞道の測定断面は、図3のA~Eの5断面で,A~D の各断面は沖積層内,E断面は土丹層内にそれぞれ位 置する.各断面には、セグメントリングの左右側壁(セ グメント部)にゲージ長50 cmの軸方向ひずみ計、お よび断面の変形を測定するためにトンネル内面円周方 向に取り付けたゲージ長50 cmのひずみ計が設置さ れているが、D断面にはさらに、リング継手を中間に 挾むように設定された2点間(以下ジョイント部と呼 ぶ)の平均変形を測定するため同様のひずみ計が設置 されている。また、地盤の挙動を把握するために、土 丹層および沖積層に加速度計が配置されている。

石开 究 ·谏







縦断図

リング継手(軸方向)の地震時の挙動

(1) 地震観測結果

図4は、千葉・茨城県境で発生した地震の際得られ たひずみ記録で, D 断面の同一測定位置におけるセグ メント部およびジョイント部の軸方向ひずみの波形を 並べて示したものである。2つの波形は、幾何学的に 相似しており、かつ位相も同じであることが認められ る.本測定位置に相対する側壁における同種の2つの 波形についても、同様な性質があることが確認されて いる

D 断面の各部位の最大ひずみは、地震動の主要動部 でほぼ同時刻に発生している. そこで, この時刻にお ける左右側壁のひずみの平均値すなわち軸ひずみを求 め、比較したのが表1である。前述のようにジョイン ト部の軸ひずみにはリング継手の変形とセグメントの 変形が含まれている。そこで、この部分のセグメント の変形がセグメント部の変形と同値であるとして、1

個所のリング継手の変形量 Siとセグメント1ケ当り の変形量 δ_{sc} を分離し、その倍率 δ_{J}/δ_{sc} を求めて併せ て表に示してある。

昭和59年9月14日長野県西部地震で得られた記録 および,昭和58年8月8日神奈川・山梨県境で発生し たM6.0の地震の記録についても同様の手順で整理し た結果が表に示されている.表よりひずみで3~5倍, 変形量で1~2倍程度リング継手の変形がセグメント に比べて優勢であることがわかった.これらの値は, 地震動の強さを考慮して評価する必要がある.

(2)数值計算

地震時におけるリング継手の変形を明らかにするた め、観測を行っているシールド洞道を、セグメント (SG) ~ボルト(B) ~地盤(S) 系としてモデル化し, その変形特性を有限要素法で検討した。トンネル軸と 半径を含む2つの面で解析対象断面を切り出し,平面 変形条件の下で, 軸方向に一定の変位を与えて, セグ メントおよび周辺地盤の変形状態を計算した。図5に

38 巻 11 号 (1986.11)

表1 観測されたりング 榧子・セクメントのひ 9 みと変形									
地震名 (震央位置)	マグニチュード	震央距離 (km)	① セグメント部の 最大軸ひずみ (µ)	② ジョイント部の 最大軸ひずみ (µ)	② ① ひずみ倍率	③ セグメントの 変形量 	④ リング継手の 変形量 _{る」} (cm)	<u>④</u> ③ 変形量の倍率	
千葉茨城 県 境	6.1	61	3.96	12.53	3.2	3.56×10^{-4}	4.26×10^{-4}	1.2	
昭和 59 年 長野県西部 地 震	6.8	200	4.75	20.43	4.3	4.28×10^{-4}	5.90×10^{-4}	1.4	
昭和 58 年 8月 8日 神奈川・ 山梨県境	6.0	60	4.15	21.53	5.2	3.74×10^{-4}	8.72×10^{-4}	2.3	



示すように解析対象部位は、シールド洞道のリング継 手を中心にその両側にそれぞれリングの半分(45 cm) の長さをとり、またシールド洞道の内側からセグメン ト厚(27.5 cm)、さらに周辺地盤厚さ50 cm を取り込 む矩形とした.なお、ボルトはバネに変換して締結位 置に作用させた.裏込めのグラウトは考慮しなかった. 圧縮強度が著しく低いこと、確実性に乏しいことから、 引張強度が期待できないからである.計算は線形の範 囲で実施しているが、試算の結果から非線形の影響は ほとんどないことがわかっている.また節点Pについ ては、セグメントと地盤とは結合せず二重節点とし、 さらにセグメント内面および地盤の境界を図5のよう に変位0としたのは、試算の結果本解析ではほとんど 影響がないことがわかっているからである。

5. -ス 記号 名 称 物性あるいは応力 1 2 $E = 3.5 \times 10^{5}$ SG セグメント (kg/cm²) $v_s = 100$ S 地盤 (m/sec)に相当 $E = 2.1 \times 10^{6}$ В ボルト (kg/cm²) PB₁ ボルトにかかる引張力 $\sigma_t = 400$ (kg/cm²) PB_2 $\sigma_t = 600$ ボルトにかかる引張力 (kg/cm²)

検討したケースと組み合わせ

表 2

検討したケースとモデルの組み合わせは,表2に示 すとおりであるが,ボルトの締めつけによって働く引

508 38 卷 11 号 (1986.11)







図6 変位図 (ケース1,地盤ひずみ10-4)

張力を想定した.解析に当っては軸方向すなわち解析 断面の両端に,地震時に考えられる地盤のひずみ10⁻⁶ ~10⁻⁴に相当する変位を与えた.図6はケース1で 10⁻⁴の地盤ひずみを与えた場合の変位図である.図7 には地盤ひずみ(変位)とセグメントの変形量に対す るリング継手の変形量の倍率(δ_J/δ_{sc})とをとってまと めてある.図中の点線は、セグメントとボルトを直列 バネとしたときの倍率を示すものである.図7には、 表1のセグメント部およびジョイント部のひずみから 換算した地盤ひずみと変形量の倍率も示してある.た だし、地盤ひずみが10⁻⁴を超えると、ボルトの種類に よっては塑性領に入りリング継手の変形量が増加する.

5. ま と め

地震観測から得られた結果と数値解析の結果から、リ ング継手の地震時の変形メカニズムがほぼ把握された。 今後観測と検討を続けていく予定である。

(1986年9月22日受理)

研

究