

断層を横切るシールドトンネルでの 地震時挙動観測

大保直人¹・古谷俊²・高松健³

¹正会員 工博 鹿島 技術研究所 (〒186 東京都調布市飛田給 2-19-1)

²横須賀市 水道局 (〒238 神奈川県横須賀市小川町 11)

³横須賀市 下水道部 (〒238 神奈川県横須賀市小川町 11)

地下構造物が被害を受ける可能性のある地盤・構造条件としては、地形・地盤急変部を地下構造物が横切る場所並びに構造急変部（例えば、立坑との接合部）であることが過去の地震被害事例から、指摘されている。従って、地下構造物の地震時安全性を評価する場合、構造物や周辺地盤の地盤・構造急変部における地震時挙動を正確に把握する必要がある。

本論文では、断層を横切るシールドトンネル（共同溝）の地震時挙動を解明すること並びに耐震安全性を確認するために地震観測システムを設置したので、その概要と得られた地震記録から得られた挙動を紹介した。

Key Words: Shield Tunnel, Earthquake Observation, Active Faults, Dynamic Behavior

1. はじめに

過去の地震被害事例から、地下構造物が被害を受ける可能性のある地盤・構造条件としては、地形・地盤急変部を地下構造物が横切る場所並びに構造急変部（例えば、立坑との接合部）であることが指摘されている¹⁾。例えば、1995年の阪神・淡路大震災において、地下構造物被害の多くが構造急変部で発生していたことが報告されており²⁾、地下構造物の地震時安全性を評価する場合、地盤・構造急変部における地震時挙動を正確に把握する必要がある。なお、地盤急変部や構造急変部において地盤と構造物の動的挙動の違いについては、動的解析結果や地震時挙動観測から明らかにされている³⁾。

ここでは、断層を横切るシールドトンネルの地震時挙動を解明すること並びに耐震安全性を確認するために地震観測システ

ムを設置したので、その概要と得られた地震記録について紹介する。

2. 構造物の概要

図-1には、横須賀市の津久井と武を結ぶ上・下水施設の共同溝として構築されたシールドトンネルの通過路線と武山断層の位置を示した。本シールドトンネルは、武山断層と数カ所で交差しているが、○印の位置で地震観測機器を設置した。地震観測を実施しているシールドトンネルは、内径 3050mm で、

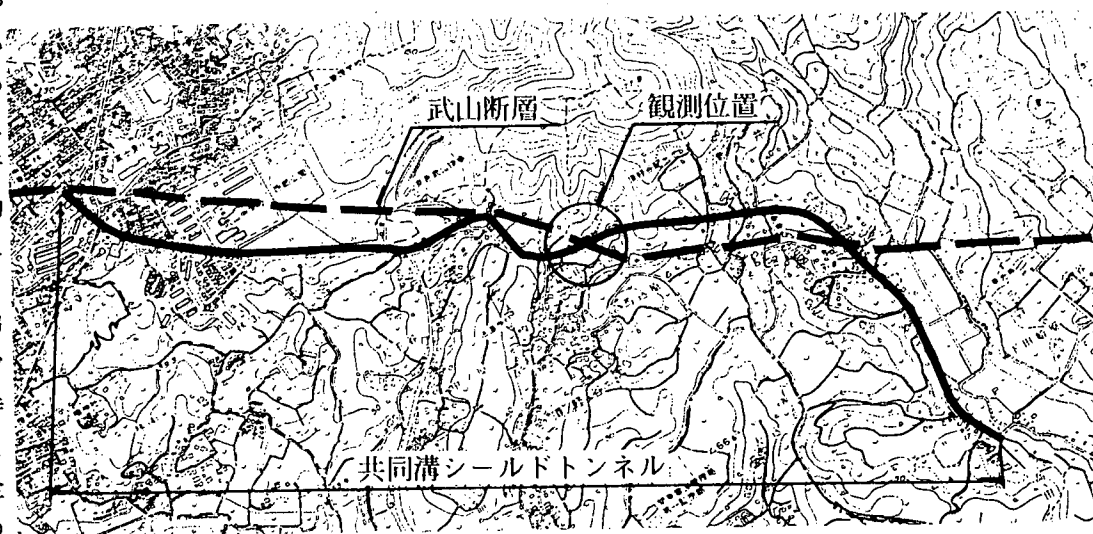


図-1 断層とシールドトンネルの位置

コンクリートのセグメントが用いられ、その内部には、直径 900mm の強化プラスチック複合管の污水管と直径 1200mm の鋼管の水道管が付設されている（図-2 参照）。本シールドトンネルの路線は、深さ約 50m に位置し、凝灰質砂岩から、武山断層を横切り粘土化した泥岩部を通過している。本トンネルは、当初計画では武山断層に沿って建設する予定であったが、シールドトンネル通過深度における断層の正確な位置が確認出来なかったためシールドトンネルが断層を横切って構築された。本シールドトンネルでは、例えば、断層活動によって大変位が発生してもトンネル内に敷設された管路への影響を少なくするような材料を用いる等の対策を施してある。

3. 地震観測の概要

(1) 観測の目的

本シールドトンネルが横断している武山断層は、確実度 I、活動度 A 級とランクされている⁴⁾。海底部を含め、断層の長さを 20km とすると、活動は地震規模でマグニチュード 7、断層の変位量は右横ずれで 1.6m、再来周期 500～4000 年と推定される。なお、詳細については、現在、横須賀市で調査中である。本共同溝路線は、本断層と 3 カ所で交差しており（図-1 参照）、断層活動に伴うシールドトンネルの挙動並びに地盤構造変化部での地震時挙動を解明することは、断層を横切るシールドトンネルの耐震設計法の確立において重要である。ここでは、断層を横切るシールドトンネルの地震時挙動を解明すること並びに将来的には施設の安全管理を目的として地震観測システムを設置した。以下に主な目的を示した。

- 断層を挟む地質構造の違いとトンネル挙動の違いの把握
- 横断する活断層の活動状況の把握
- 今後施工する管路の耐震対策へのフィードバック

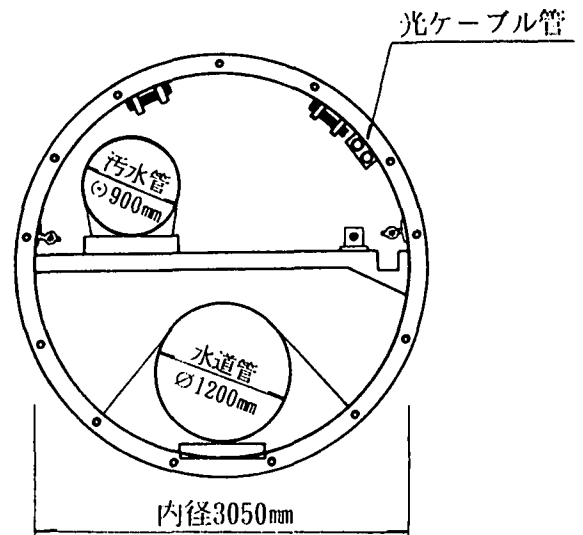
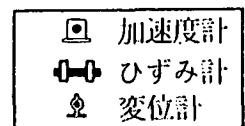


図-2 トンネル断面構造と地震計の配置

(2) 観測機器の配置

地震観測機器設置位置は、シールドトンネル掘進時の土質の変化、ボーリングデータ等から最も確実と考えられた武山断層と周辺の破碎帯を囲む場所とした。具体的には、断層境界（以降、断層と呼ぶ）、それを挟む左右 20m の範囲を対象に岩盤部（正確な土質分類ではないが、以降岩盤部と呼ぶ）と破碎帯に観測機器を設置した。変位計は、断層と破碎帯のセグメント間のトンネル軸方向変位を測定するために 4 成分、岩盤部並びに破碎帯のセグメントに働く円周方向のひずみを測定するためのひずみ計 4 成分および岩盤部、断層および破碎帯でのトンネル軸・軸直角・上下方向加速度応答を測定するために加速度計 8 成分の合計 16 成分である。加速度計、変位計およびひずみ計の設置位置を図-2、-3 にそれぞれ示す。

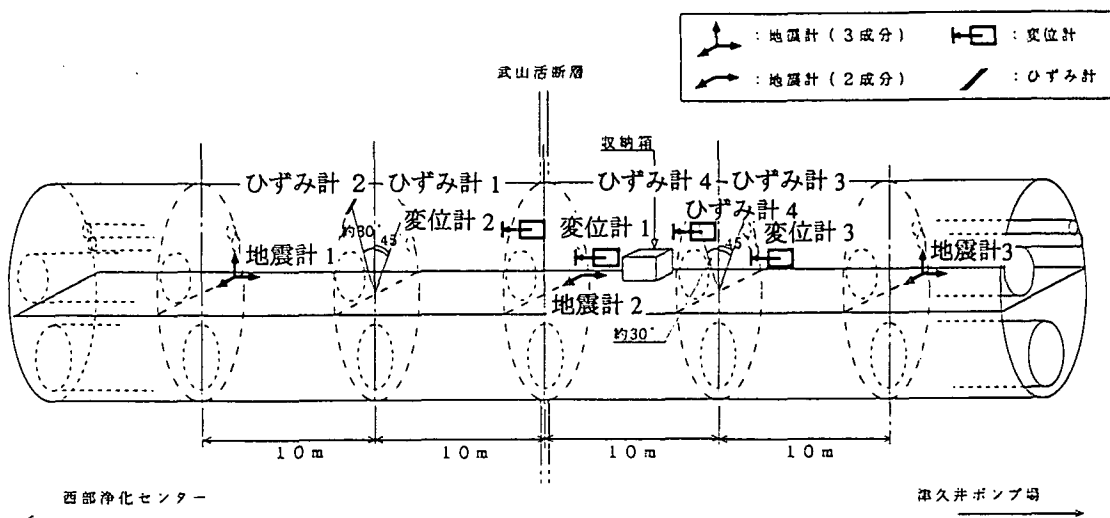


図-3 地震計配置の概要

(3) 観測システム

16成分の機器は、ポンプ場から約2km離れた断層境界付近に設置し、そこから光ケーブルを介しポンプ場に設置した観測装置で地震データを収録するシステムになっている。地震記録は100Hz サンプリング、遅延時間10秒とし、トンネル内で1Galを上回る加速度を感知すると記録するシステムとなっている。収録装置に記録された地震波形は、電話回線を用いて回収している。現在、当施設は建設中であり、処理場完成時には、震度3以上の地震は、処理場の集中監視盤に表示することを計画している。

4. 観測記録

1996年4月から本観測システムが稼動を開始し1996年末までに20個の地震波形が記録されている。表-1には、横須賀市で震度2以上の地震記録の一覧を、図-4には、観測位置とこれらの地震の震源位置の分布を示した。これまで観測された地震の中でトンネル内での加速度およびひずみが最も大きな値を示した地震は、地震番号3の千葉県東方沖を震源とした地震である。この観測記録から断層を挟んだ地点で観測された加速度およびひずみ波形に見られるトンネルの挙動を以下に示す。

図-5と6には、断層から左右に20m離れた岩盤部と破碎帯で観測されたトンネル軸・軸直角方向の加速度波形の主要動部分とそのフーリエスペクトルをそれぞれ示した。最大加速度は、トンネル軸・軸直角で測定地点で異なった大きさを示しているが、振動成分は観測方向に関係なく岩盤部分で高い振動成分を多く含んでいる。

図-7には、トンネル周辺方向のひずみ波形を示す。ひずみ波形は、加速度と異なり破碎地帯での振幅が大きくなっている。変形モードからの検討は、今後動的解析を通して詳細な検討を実施する予定である。トンネル軸方向の変位は測定できるレベルの地震は観測されていない。

5. おわりに

ここでは、地震観測システムの概要と、観測された記録の一部を紹介した。観測を開始し着実に地震記録が蓄積されており、これらの記録の分析から定性的な挙動が明確になりつつある。本観測では、変位計を設置しているが、これまで精度のよい変位波形は記録されていない。トンネルの変形については、3地点に加速度計設置しており、この記録を積分し

表-1 96年に記録された主要地震一覧

地震番号	地震発生地点	地震記録日時	地震規模	震央距離	加速度 (Gal)	ひずみ (μ)	変位 (cm)
1	相模湾	07:10:23:06:57	4.1	12	2.5	2.0	0.001
2	山梨県東部	08:09:03:16:13	4.6	71	6.0	4.7	0.001
3	千葉県東方沖	09:11:11:37:24	6.2	148	6.6	13.8	0.006
4	山梨県東部	10:25:12:25:07	4.5	65	4.6	4.4	0.001
5	千葉県南部	11:15:10:30:42	4.0	28	3.2	2.5	0.001
6	房総半島南東沖	11:20:11:27:52	6.0	176	2.4	5.2	0.001
7	房総半島南東沖	11:28:16:40:31	5.2	89	6.4	9.5	0.002
8	茨城県南部	12:21:10:28:35	5.4	102	3.0	6.6	0.002

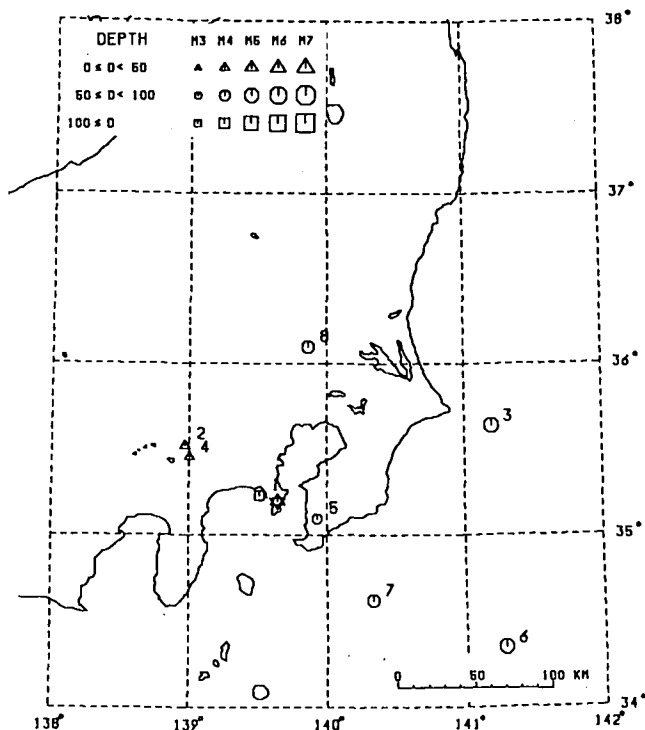


図-4 観測位置と震源位置の分布

た変位波形を用いて検討を進める予定である。さらに、地震観測を実施している周辺の地盤条件を参考にし、全体系解析モデルを作成し、解析を通して断層を横切るシールドトンネルの挙動の解明を実施しており、解析結果が得られ次第報告する予定である。

参考文献

- 1) 川島一彦：地下構造物の耐震設計、鹿島出版会、1994。
- 2) 例えば、地盤工学会：阪神・淡路大震災調査報告書、平成8年3月
- 3) 例えば、大保他：大深度鉛直立坑とシールドトンネルの地震応答特性、都市地下空間利用における大深度地盤に関するシンポジウム、247-252、平成5年11月
- 4) 活断層研究会：新編、日本の活断層一分布図と資料、東京大学出版会、1991

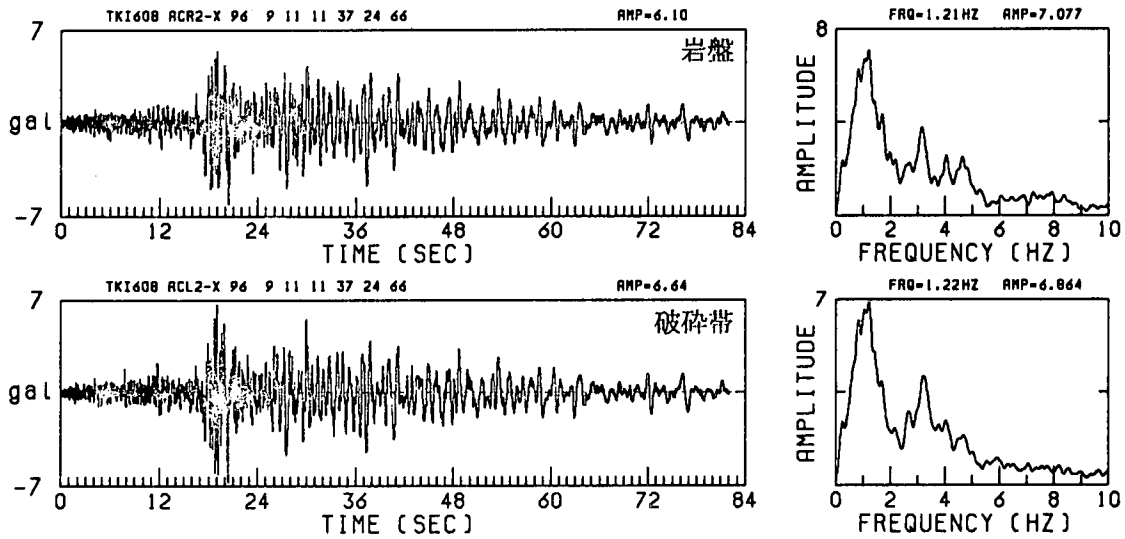


図-5 地震番号3で記録されたトンネル軸方向加速度波形およびフーリエスペクトル

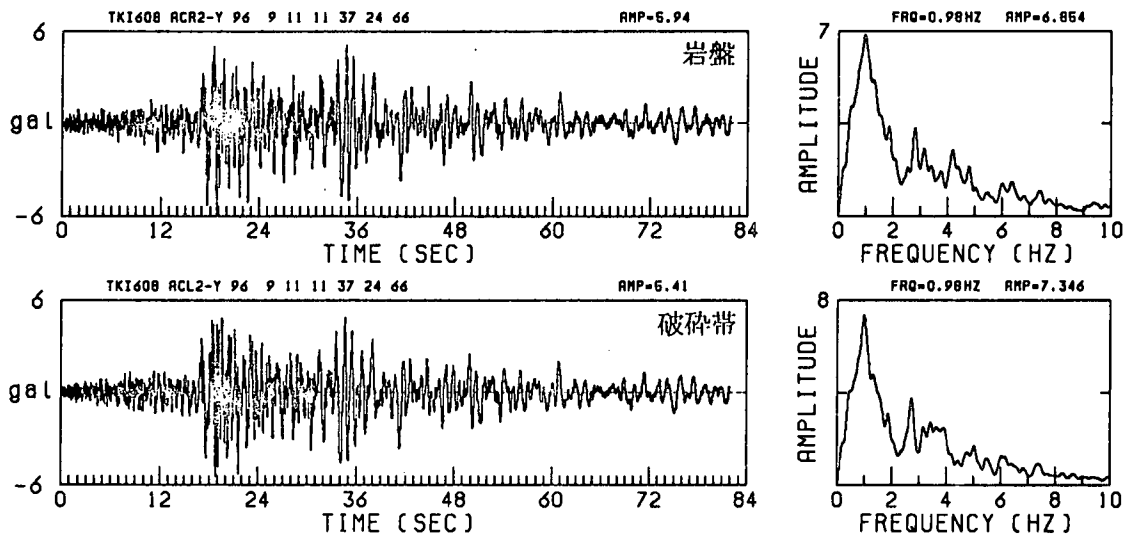


図-6 地震番号3で記録されたトンネル軸直角方向加速度波形およびフーリエスペクトル

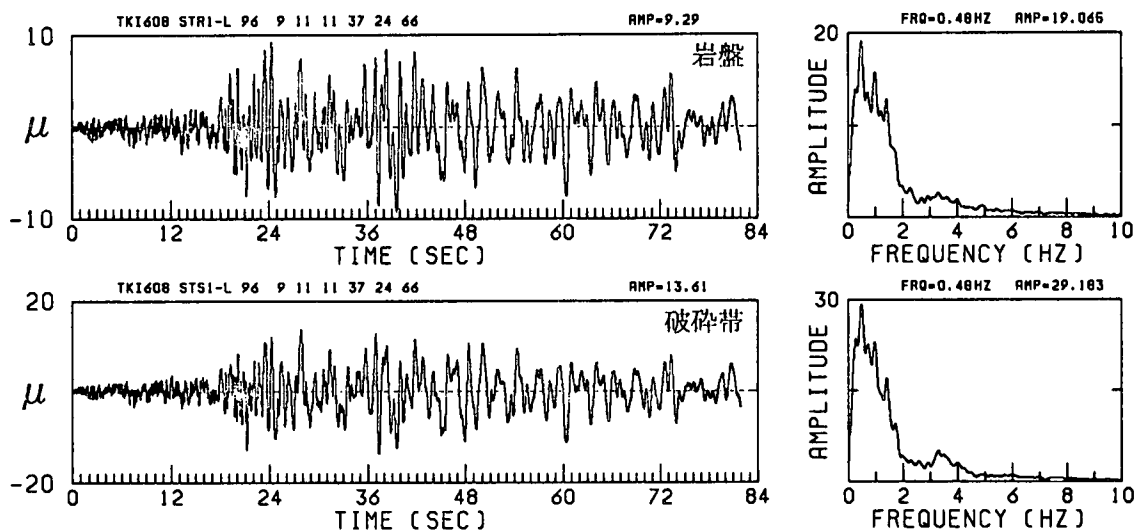


図-7 地震番号3で記録されたひずみ波形およびフーリエスペクトル