

12. 鉄道活線沿い斜面での崩壊予測と危機管理体制

A Case Study of Landslide Prediction and Crisis Management near
Moving Railway Slope.

応用地質(株) ○高柳 朝一
土佐くろしお鉄道(株) 細川 光

はじめに

平成15年12月8日11:03に高知県西部を走る土佐くろしお鉄道中村線の荷稻～伊与喜間で無風・晴天にも関わらず、大規模な斜面崩壊が発生した。幸い、事前の危機管理や斜面監視等が功を奏し、人的被害はなかったものの、現場では約5,000m³の土砂が線路を被った。これにより、本線は、年末・年始の多客期を挟み、1ヶ月間余りに渡って運休せざるを得なくなり、鉄道利用者・地域社会等には多大な不便をもたらす結果となってしまった。

筆者は、変状確認直後から現地調査・斜面監視・崩壊予測等を行う機会を得た。また、崩壊状況を目の当たりにした。

本報文では、今回の崩壊が発生した初期の変状発生状況、危機管理体制、崩壊予測及び崩壊までの経緯を中心に紹介する。

1. 現地概要

(1) 土佐くろしお鉄道の概要

土佐くろしお鉄道は、2系統の路線を運行し、路線の1つは、高知県西部の窪川町から中村市を経て宿毛へ至る中村線及び宿毛線である。本線は中村市や宿毛市と高知市、岡山市、高松市等を結ぶ特急「南風号」や「しまんと号」等の優等列車が9往復運行される重要路線である。

(2) 地形・地質概要

空中写真判読や現地踏査の結果より、現地の周辺部には古い表層崩壊地形は存在するものの、地すべり地形などの不安定地形は存在しない。

地質は、四万十帯の砂岩が主体で部分的に頁岩を薄く挟む。砂岩の岩塊は新鮮部では硬質でハンマーの打撃で金属音を放つが、地山全体に風化が進み、褐色化・脆弱化し、開口割れ目も発達する。開口割れ目には、一部で流入粘土も挟まる。

地質構造は、溪流や河川などの新鮮な所では、走向が概ね北東-南西方向、傾斜が北西へ60~80°と急傾斜であり、崩壊面に対しては概ね直交する。しかし、斜面では全体に乱されており、地質構造は複雑である。

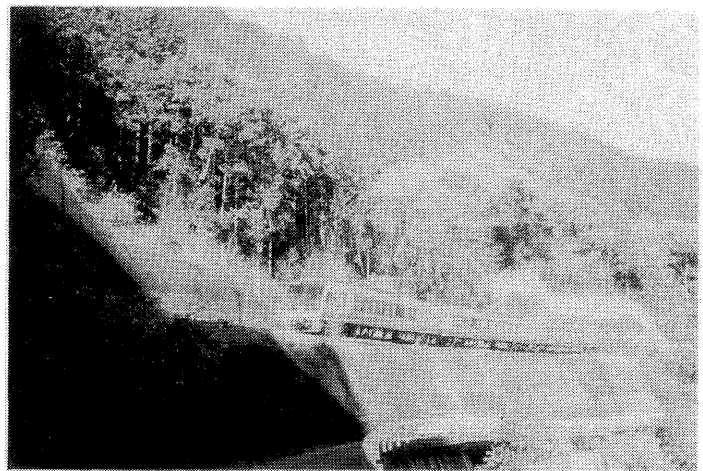


写真-1 崩壊前の現地を通過する
特急「南風号」

2. 変状発生状況

(1) 降雨状況

現地は、平成 15 年 11 月 27 日～29 日の 3 日間にかけて連続雨量 541mm の集中豪雨に見舞われた（土佐佐賀駅観測）。最大時間雨量は 62mm である。

(2) 変状状況

変状は、12 月 1 日、土佐くろしお鉄道の保線係員による路面からの点検で初めて確認され、急きよ、斜面全体を踏査した。この結果、斜面全体に渡って開口クラックが確認された。変状の発生状況を図-2 に示す。

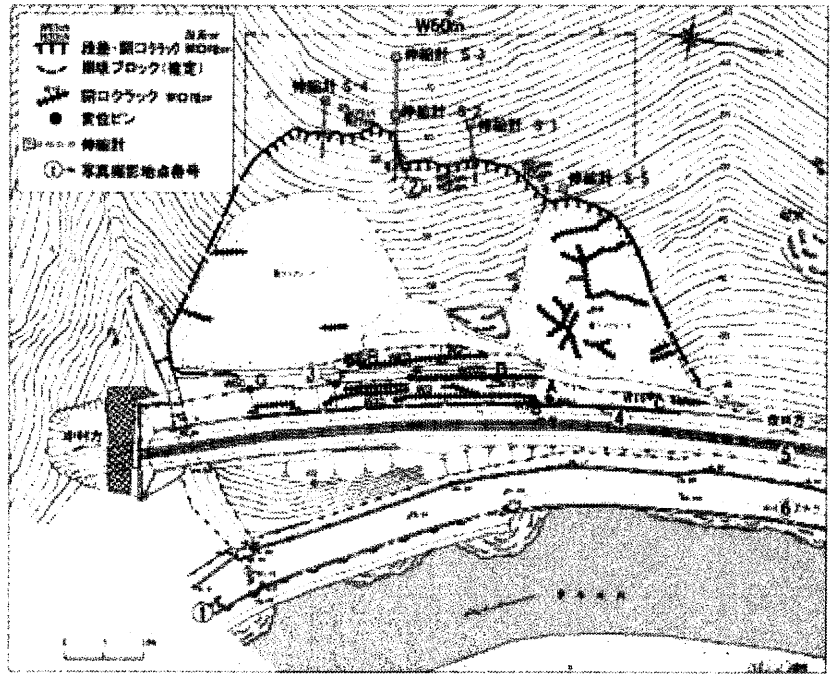


図-2 変状発生状況平面図

①自然斜面の開口クラック（写真-2）

自然斜面にはほぼ 50m に渡って連続する新鮮で段差を有する開口クラックが発達する。この開口クラックより上部には、地すべり的な変状は認められなかった。

②土留擁壁天端（小段）のクラック、沈下（写真-3）

土留擁壁は 2 段で施工されているが、特に下部擁壁天端（小段）では、開口クラックの発達が顕著で、幅 5～20cm、天端に対して小段が相対的に 10～20cm 沈下している。

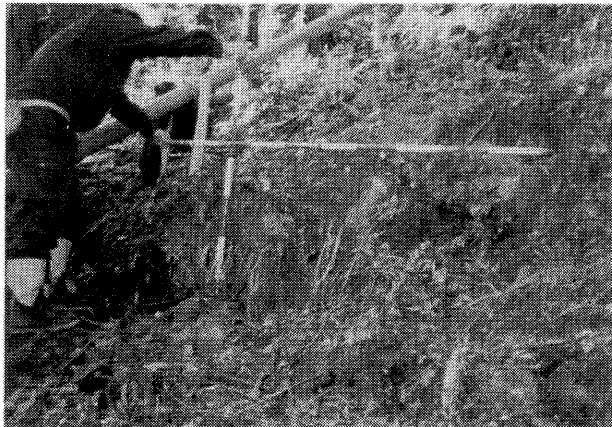


写真-2 伸縮計 S-2 に近接する開口クラック

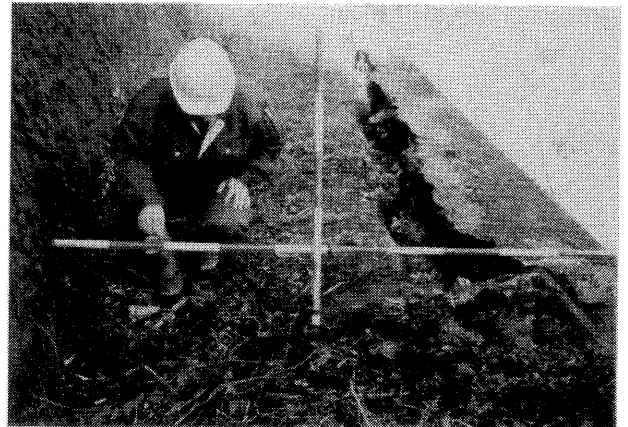


写真-3 土留擁壁天端の開口クラック

3. 危機管理体制

変状確認後、変状状況を監視し、可能な限りの列車運行を行うため、次の危機管理体制をとった。

(1) 列車の最徐行運転

現地を通過する列車は、特急列車が 9 往復、普通列車が 12 往復であるが、これ

らの列車が現地を通過する際に生じる振動をできるだけ少なくし、斜面へ与える影響を減らすため、最徐行運転を行うこととした。

(2) 伸縮計による計測

自然地山に生じた開口クラックの変位量を測定するため、伸縮計5基を設置した。これらの伸縮計は変位量が2mm/h以上となった場合は、線路脇に設置した警報や回転灯が作動するようにした。また、伸縮計の警報が発令した場合の対応は図-3に示す流れとした。

(3) 斜面監視

斜面監視は、現地に土佐くろしお鉄道の保線職員2名を常駐させ、異常の有無を確認することとした(注意体制①)。また、伸縮計の警報が鳴った場合は、専門業者へ連絡し、専門業者が斜面点検を行うこととした(注意体制②)。その結果、変位が増加しており、斜面や構造物に新たな変状が確認されていれば、崩壊予測を行い列車運行停止も検討することとした(警戒体制)。

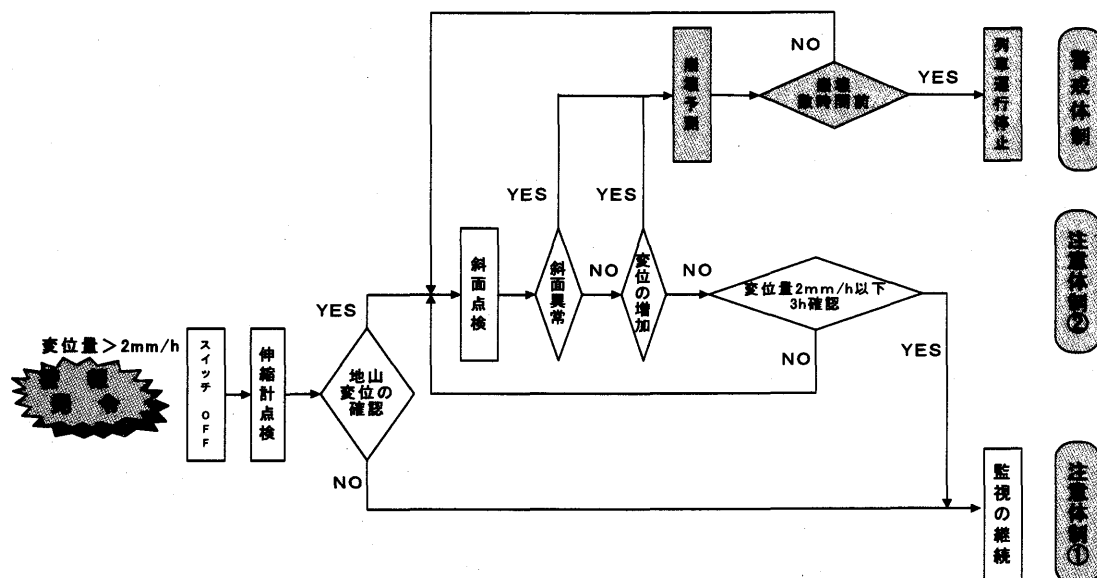


図-3 伸縮計警報発令時の対応フロー

(4) 応急対策工

応急対策工として、開口クラックに雨水の浸透防止を図るためのシートを設けた。また、傾斜30~40°の斜面での点検が速やかにできるように巡回路を設けた。

しかし、このような斜面変状に最も効果的な押え盛土工は、列車の営業運転を行いながら実施することは、地形の制約が余りにも大きいため簡単にはできない状況であった。

4. 伸縮計観測結果

伸縮計の観測結果として斜面中央部に設置したS-2の経時変化図を図-4に示す。

(1) 設置直後の変位状況

伸縮計の設置直後の変位量は0.4~0.5mm/hでほぼ一定値であった。これは、開口幅は20~50cmのクラックが連続することを考慮すれば仕方のない値であり、逆に、変位が収束するのではないかと、期待感をもたらす値でもあった。

(2) 12月6日(降雨後)からの変位状況

変位量は12月5日夕方からの降雨により状況が急変した。この降雨は高々23mmであったが、変位量は6日0時を境として増加傾向に転じた。また、6日4:30には伸縮計S-1で2mm/hの変位量を越えたことにより、警報も鳴った。

変位量はその後も増加し、ついに12月8日11:03の大規模崩壊を迎えた。

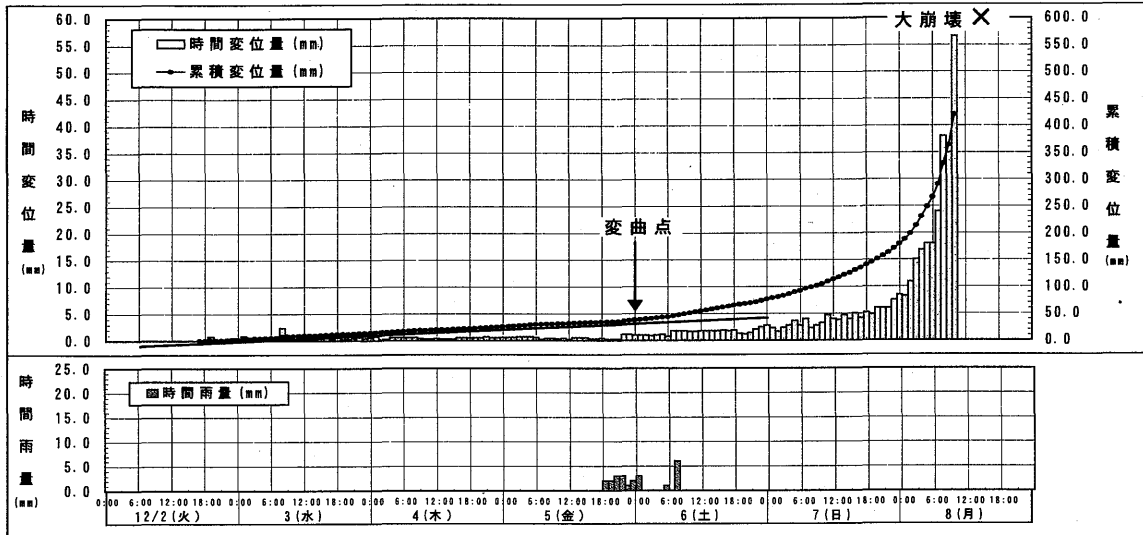


図-4 伸縮計観測結果経時変化図 (S-2)

5. 斜面崩壊予測と大崩壊

(1) 崩壊予測

伸縮計の変位量は、12月7日11:00には4.7mm/hとなった。このため、この時点で齊藤の式による崩壊予測を行った所、崩壊予想時刻は8日10:00~12:00であった。崩壊予測は、その後も適時行ったが、図-5に一例を示すように、いずれも崩壊予想時刻は8日11:00頃であった。

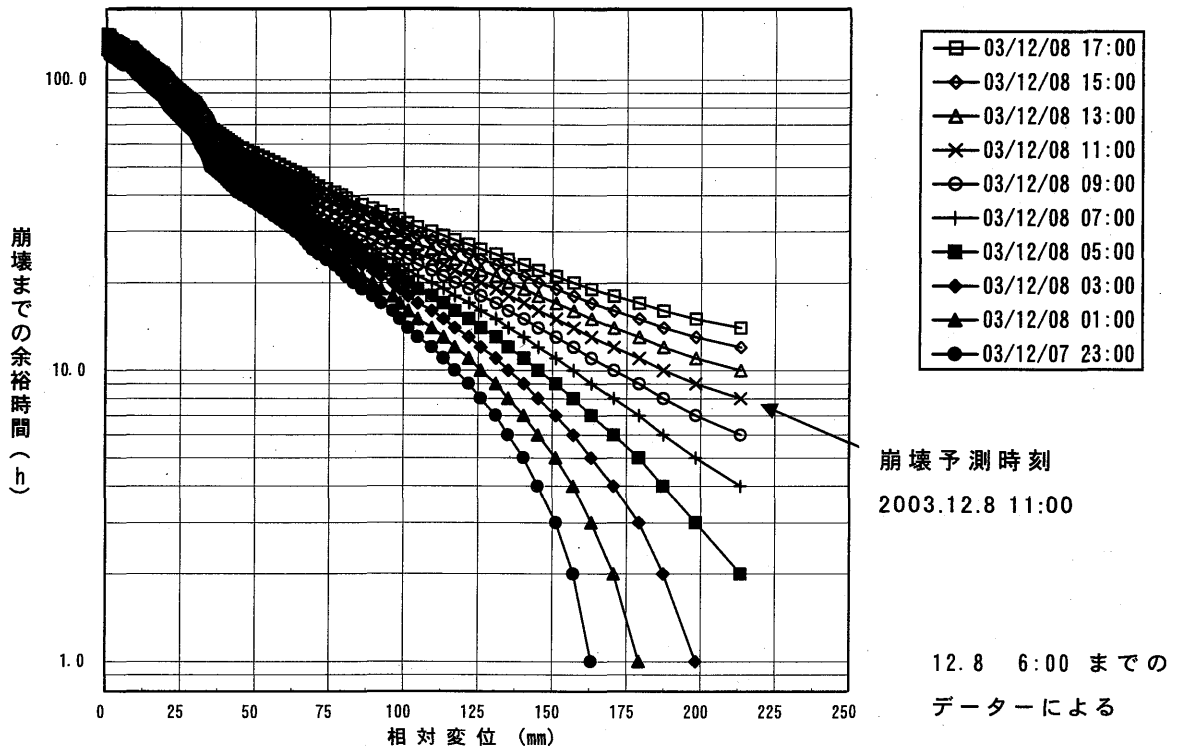


図-5 齊藤の式により崩壊予測図 (S-2)

(2) 列車の運行停止措置

列車の運行停止は、地域社会及び土佐くろしお鉄道へ与える影響が極めて大きいため、できるだけギリギリの所で行うこととした。これは、早めに列車運行停止を行っても崩壊が発生しなかった場合には、列車運行再開に対してさらに厳しい判断が求められ、また関係各方面からの避難も予想されたためでもあった。

現地での異常発生状況を図-6に示すが、12月8日1:40、5:50と落下音がした。暗闇の中で聞く落下音は極めて不気味であった。2回目の落下音を聞き、さらに伸縮計の変位量も30mm/hと警報発令時の15倍に達していた。ここで、初めて列車運行停止措置をとることとした。

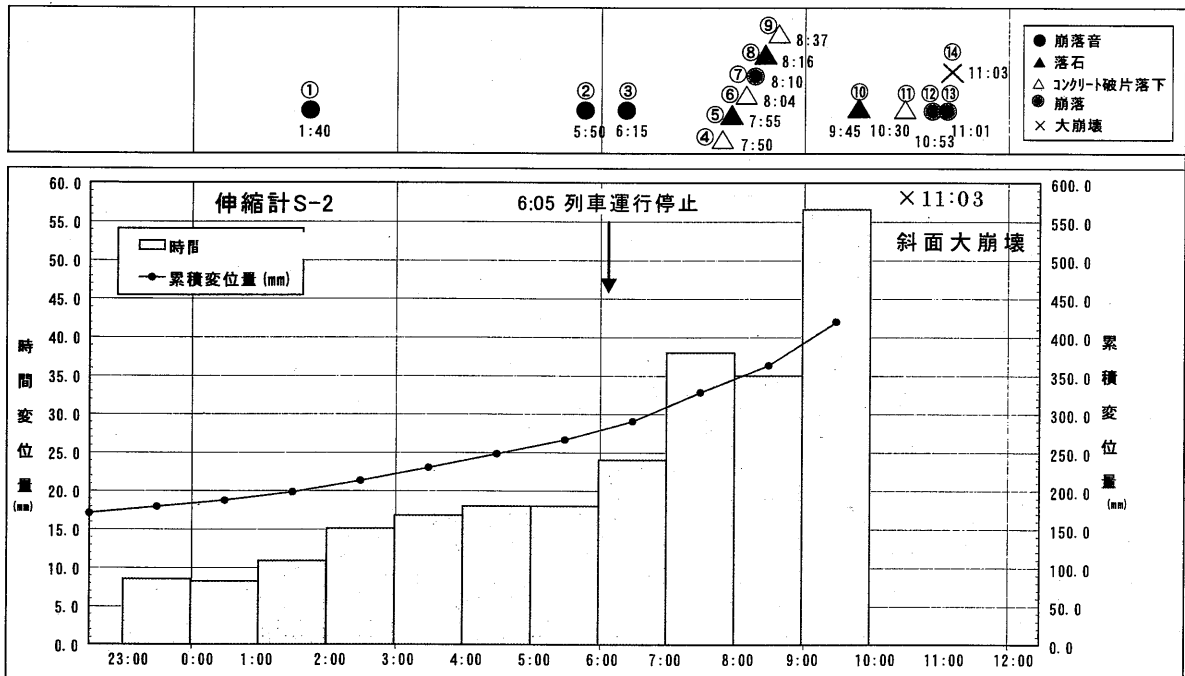


図-6 斜面崩壊日に生じた明瞭な斜面異常の経時変化図

(3) 斜面大崩壊

斜面大崩壊は、予想通りの11:03に生じた。崩壊の瞬間を写真-5に示すが、崩壊時は最初に斜面上部で大きな破壊音がした。次に、土煙が上がった。擁壁がゆっくりと転倒した。樹木が立ったまま移動してきた。全体にスローモーションビデオを見ているようであった。天気は、快晴・無風で、太陽の光線がとても眩かった。

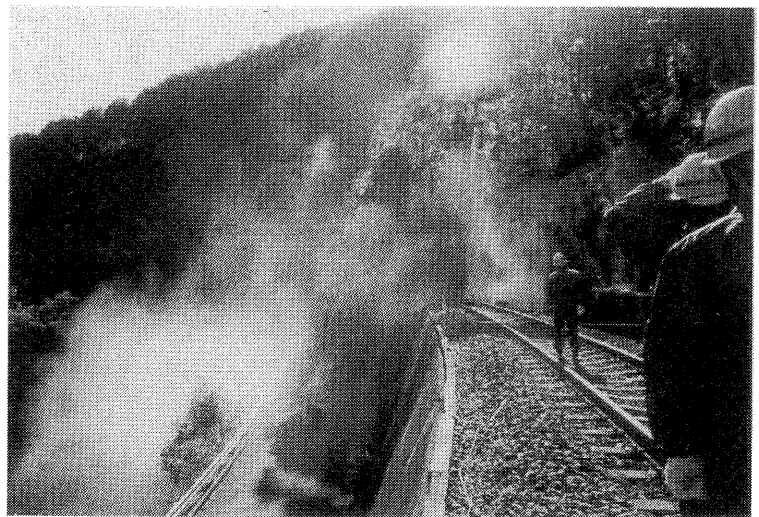


写真-5 斜面崩壊の瞬間
12月8日11:03

(4) 崩壊の規模

斜面の崩壊は、左側の一部を除き、当初自然斜面で確認された開口クラックを滑落崖として生じた。概略の崩壊規模は、幅 $W=50\text{m}$ 、斜面長 $L=50\text{m}$ 、厚さ $H=8\text{m}$ 、崩壊土量 $V=5,000\text{m}^3$ となる。

おわりに

本報文では、斜面災害の崩壊予測事例として、筆者自身が体験した平成15年12月の土佐くろしお鉄道の斜面崩壊を紹介したが、ここで、崩壊予測結果はあくまでも目安であり、通行止め・応急作業中止・避難等の重要な判断は現場にいる技術者が現地状況をつぶさに把握して行う必要がある。

また、鉄道活線沿い災害の地形的な制約も改めて認識した。例えば、道路であれば一般には迂回路を確保し、変状斜面を通行止めし、押え盛土工や横穴排水ボーリング工等の応急対策工を施工できる場合が多い。

しかし、今回は応急対策工はできず、本質的にはただ斜面を監視する（眺めている）ことしかできなかった。とても残念で、辛かった。

しかし、今回は応急対策工はできず、本質的にはただ斜面を監視する（眺めている）ことしかできなかった。とても残念で、辛かった。

<参考文献>

- 1 齊藤迪孝「実証土質工学」1992, PP. 206. 技報堂出版.
- 2) (社) 地すべり対策技術協会「いつでも、どこでも直ぐに役立つ地すべり観測便覧」1996, PP. 500.
- 3) 土木学会四国支部・地盤工学会四国支部合同調査団「11月豪雨による国道55線の土石流災害・土佐くろしお鉄道中村線における斜面崩壊」2004, 自然災害フォーラム「豪雨と地震災害から身を守る」

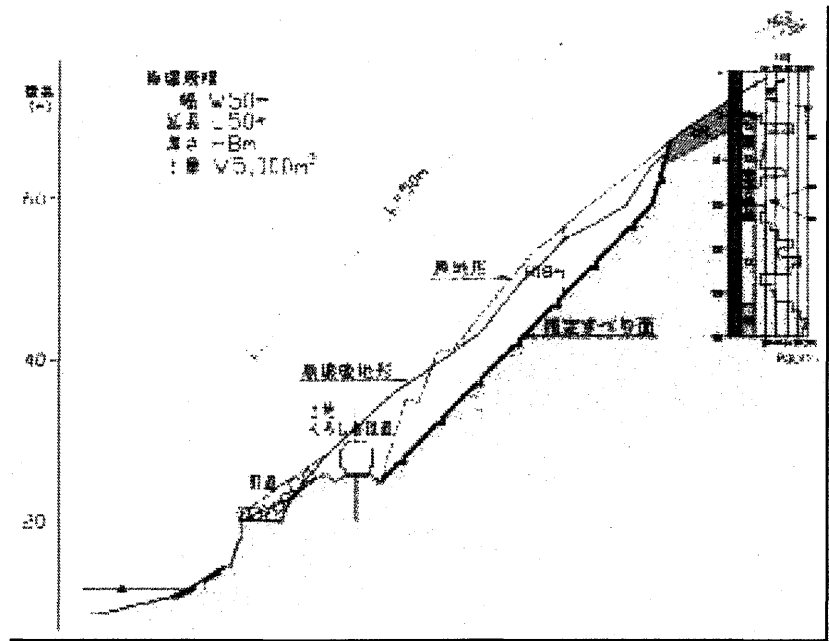


図-7 崩壊後の断面図 主測線