

講 座

鉄道建設技術講座 (IX)

正 員 桑 原 彌 寿 雄*

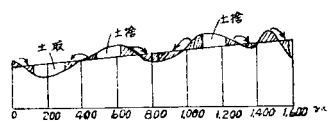
第5章 線路建造物の設計 (I)

1. 土工

(1) 本線土工

i) 切盛計画 本線土工はまづ縦断面図上において、その流用関係を研究し、これによつて土取場、土捨場を用意するとともに、また石垣または擁壁の利用による土工量の節約や、法面勾配や除雪切払等横断面内の設計や、橋梁の取付径間の長さや、隧道坑口の位置などの設計を

図-1 土工流用図



考慮せねばならない。すなわち図-1のよう

に、切取(土質、岩質による増加率と地盤傾斜による影響及び横断面方向の擁壁等の設計による数量の変化を加味する)と盛土(余盛りと橋梁取付部の数量変化例えば盛こぼしを計算に入れる)の切盛流用計画をたて、これによつて流用数量と土取土捨数量とを明らかにする。このことは路線選定に際しても全く同様に、F.L. すなわち線路勾配を確定するに当つて予想しながらやるべき事項である。

この線路方向の切盛の計画に当つては、土工費の単価はほとんどその運搬費すなわち運搬距離と切崩しの難易とによつて定まるものであるから、一般には流用が多いほど、その運搬費は、少なくともその部分だけは、半分となつて減ずるものである。ただし切盛がいくらバランスして流用できて、運搬距離が長くなつては高いものにつくから、ときにはむしろ一部土捨土取した方が有利なことがある。また切取の岩質が非常に固くて切崩しに困難する場合などは、流用にこだわらずに横断面内の設計でできるだけ土工数量を減らすとともに、近くて取りよい土取場をみつけて純築した方が得なことがある。

切取の土質、岩質によつて膨脹率の異なることはすでに表示したが、参考までに切崩の難易の程度を示せ

ば土 I (ショベル可)、土 II (ツルハシ可)、土 III (石工または発破要)、岩 I (ツルハシ可)、岩 II (一部ダイナマイト要 80 g/m³ 程度)、岩 III (固結、全部ダイナマイト要 120 g/m³)、岩 IV (相当固い、同 160 g/m³)、岩 V (風化ほとんどせぬ堅岩、同 200 g/m³)、岩 VI (風化全くせず堅硬、同 240 g/m³ 以上) 等の程度である。

築堤は盛つたばかりでは、相当突き固めしながら施工しても、数年間は収縮固結し頂面が沈下する。それで国鉄では土工工事標準示方書で、表-1 のような高さを余盛りの標準とし、盛土法面は余盛天端を見通して盛立てることになっているが、岩質、土質と土工の方法及び季節、期間によつて多少異なるのは当然である。隧道のズリの例で云えば、堅岩の場合ズリ捨場の容量は最初地山の 60% 増を要するが、2~3 年たつて落付けば、容積は 30~40% 増となるようである。この余盛の数量は運搬数量、従つて運搬費の関係から土工単価の算定は考慮しなければならない。

表-1 余盛の高さ

盛土高さ	盛土資料	
	土	砂または岩石
3 未満	高さの 9~7%	高さの 6~3%
3 ~ 6m	” 8~6”	” 5~2”
6 ~ 9”	” 7~5”	” 4~2”
9 ~ 12”	” 6~4”	” 3~1”

ii) 土工横断面の設計 本線土工の横断面は、切取盛土の土工定規が定まつており、線路等級と高さによつて路盤の中が異なっているだけであるが、要はその土工の形(切取及び盛土の形)自体が安定しており、かつ列車荷重、その他を支持するに十分でなければならぬわけである。定規は一般的にこの目的を果し得るようになってはあつて、その形はこの目的を果すために最も普通な一つの方法を示したものであるが、同じ目的を果すことができれば、必要な場合は他の形をとつてもよいのである。

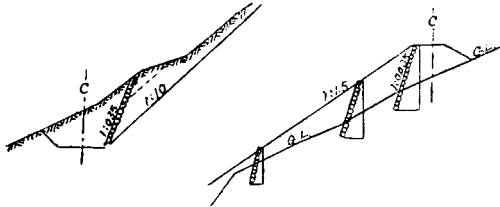
すなわち切取盛土の地質(資料)による法勾配の変化や、盛土の高い場合に以前に示した定規図のように高さ 10m で法勾配を 1 割 5 分~2 割に折る代りに、犬走り(例巾:1.0m)をつけてそれ以下は 1 割 8 分に

* 元国有鉄道技師、前盛岡工事事務所長

するとか、あるいは切取盛土ともに土工数量を減ずるために図-2のように擁壁(石垣)を用うるとか、盛土資料のよい場合(例えば堅岩隧道のズリ)に法を立てかつ表面を岩座張(例・1割2分, 1割, 8分等)とするとかの方法がある。

図-2 擁壁の利用による土工断面の節約

(a) 切取の場合 (b) 盛土の場合



切取の法面の地質が風化の激しい場合には張コンクリートまたは練張をして法を立てたり、あるいは地盤や崩壊土砂の堆積の中を進む場合には、後述のように法面の保護に特殊の工夫と特殊の断面を必要とする。また豪雪地帯では、後述のように除雪切塩や流雪溝、雪覆等を必要とすることもある。築堤では一般的な余盛のほか、軟弱地盤では沈下に対しては、ときには梯子脚木を入れたり、幽霊地盤でやむを得ない場合に両側に対重の盛土を必要とすることもある。

なお切取では凍上や噴泥の起り(ときには盛土の場合でも地質が悪ければ)そんな地質では、後の保守に苦勞するので、道床直下の路盤を約30~40cmくらい砂または炭殻で置換えて、かつ側溝縁路側を空積石垣とし、排水をよくしてそのような困難の起らないように、また道床の弾力性を増すように、下撤道床(Sub-ballast)を造ることが望まれている。

(2) 法面の保護 法面の保護という問題については、その法勾配による力学的的釣合と、法の表面の保護という2つの問題を考えなければならない。すなわち全く人工的な築堤の法勾配を、その地質(資料)と高さによつて力学的な釣合を考えねばならないことは前述のとおりであるが、いままで天然自然に釣合を保っていた地山を切取つて、新たに人工的な釣合の状態に変える切取も、その地質によつて充分釣合を保つような法勾配を採用するとともに、法勾配の変化だけでは、力学的に、あるいは土工数量的に不都合な場合には、擁壁(石垣)を用いて抑えるというような工夫が必要であり、またこの人工的な釣合(切取、盛土とも)の状態を持続し、かつ保守上手間がかからないように、その表面に必要な保護工を施して風雨(または流水)の侵蝕に堪えさせることが必要なのである。

築堤の法面の保護は、一般にその表面の仕上を踏み

固め突き固めながら、30~50cm くらいの間隔に法肩に平行して芝をつけ(これを土羽を踏むという)てゆく。ときにはこの表面を資料が岩石ズリの場合岩座張りで代用したりするていねいなやり方のほかに、ときにはこの盛土が規定断面より大きくて土捨場を兼ねるような場合には、形はどうでも表面を保てばよいという見方でクローバーその他根付のよい草の種をまいたり(土砂の場合)、あるいはズリ山に松の種子をまいたり(丹那トンネル東口の例)、大量生産的な手段をとることがある。

切取の法面勾配は摩擦角の小さくない締つた土砂の場合は、一般に1割(1:1)くらいとし、これより固結の度の強い場合には、7分(1:0.7)5分くらいとする場合もあるが、断面をさらに小さくする必要があり、土圧の関係上地山それ自体では釣合を保ちかねるような場合は擁壁(石垣)等で受け、またそれほど急でなくても、表面の保護とある程度の土圧を受けるために張コンクリート(雑石練張)等を用うこともある。緩んだ土質や山崩跡や崖錐等削行のおそれのある場合には1割5分あるいはそれ以下とし、ときには地盤地や風化した第3紀層などで、水を含めば流動体に近くするような場合には2割5分あるいは3割くらいの法に切ることがある。

地上地においては、できるだけその通過をさけるとともに、やむをえず通過せざるを得ない場合には、地盤が浅い表面的なものならば、思い切つて動いている部分を全部取つてしまふとか(切盛とも)、あるいは動かない盤まで橋脚を入れて橋梁とするとか(盛土)、切取ならば路線を変更して山手の動かない地盤の中にトンネルとすることが最良であるが、地盤部分に余裕を取つて広く切つておき(もちろんこのために対重が無くなつて地盤のバランスを破らないよう気をつけることが必要である)開通後押し出してくる土砂をときどき取去るとか、またときにはその地盤の根元(切取側に空積石垣(変形に備える)とか、コンクリート製の角材を井桁に組み、抑えるとかの工夫が必要である。

切取の法面は一般の土砂または風化して表土のつきそうな岩石の場合には、芝を布状にとつてきて、竹串で挿しときには網状に細繩を張つてとめて張芝をする。然し岩盤で全く芝のつかない場合は、表面をきれいに(厳密な幾何学的の意味でなく大体の法で岩の目にそつて、浮石をすつかり取つて一岩石の図と成層に注意を要する)仕上げておくこともあるが、これが表面が風化してボロボロ落ちてくると保守に困難するので、セメントガンでモルタルの吹付をやつたり、ときには張コンクリートまたは雑石練張を施すこともある。

特殊の地質で注意しなければならないのは、中国地方で多い真砂（マサ）などで、余程よく仕上げておかないと、雨で絶えずザラザラ崩れたり、モルタルの吹付をやつても、裏がはなれて浮いてきたりするのや、南九州に多い白砂（シラス）と称する固結の度の低い火山灰（砂）地では、法をねかせると雨裂（条痕）を生ずるから、垂直に立てる（土圧の無い程度に自体の凝集力を持つている）とか——これは関東ロームなどについても云える——なおかつ切取の敷巾を広くして標準断面の法尻、法肩の中間まで切取つておいて、表面の肌落ち土砂をととき取り除く（こうすれば土工量はふえない）とよい。砂丘の切取法面の保護も大変むづかしいが、粗朶柵を設けて一応押えておいて、クローバーに類する芝草の種子をまくのがよいようである。

切取から水の出るような場合は、その源をつきとめて他に導き、なるべく切取の土砂をうませないことも必要である。特に地氈のおそれある場合には、盲下水を作るとか、法面は空石張をして間をY字型または龜の子型のコンクリート枠で押える等の注意が必要である。こういう場合にはすべて土質力学的の考察と解析が必要である（渡辺寛著：“地質工学”参照）。

(3) 側溝類 築堤の法尻には基礎地質と堤体との両方の地下水位を下げ、うむことを避けるために側溝を設ける。この側溝は最小限度敷巾深さとも30 cm、法勾配1割程度として、耕土を外側に小堤として積み、内側には法尻から30 cm以上の犬走りを置く。切取の場合も路盤のうむことをさげるとともに、切取法面その他の水を排出するために最小敷巾深さとも30 cm、法1割の側溝を設けるが、特に路盤置換をする場合は路肩は空積石垣とし深さを大きくすることはすでに述べた。路肩の保持と後の保守上路肩だけまたは両側に側溝コンクリートを設け、ときには通水の滲透を防ぐために底もコンクリートを打つことがある。型枠の流用回数を多くすることができるので、側溝コンクリートの方が石垣（特に練積）よりも安いことが多い。切取から玉石のでる場合には、路肩の天然芝の代りに玉石を並べることもある。

この側溝は法面や外部の水が法からくるものや、法からの湧水を通すのが普通であるが、ときには一般の用排水に利用されることも多い。なお豪雪地帯においては、近所に適当な水源があるときは、冬期水を豊富に流して流雪溝として利用することもあるが、この場合は巾45 cm以上、深さ60 cm以上とすることが多く、コンクリートで底も打つのが普通である。

こういう側溝はところどころ本線を横断する水路に放水するが、法の谷を通すときにはもはや側溝コンク

リートまたは半割土管を用いる。またこの側溝が通路（踏切）とぶつかるときは土管または蓋付下水コンクリートとする。なお切取、ときには築堤の法面を水路を流下せしめる必要がある場合は、コンクリートまたは雑石練張りで堅下水を設けその脚下の正面（路肩または側溝小堤）には止水壁コンクリートを設ける。

(4) 擁壁及び石垣 土工量の節約または護岸等のため（特に地盤傾斜の急な場合）や、切取土圧や、線路の路盤自体または地山の土圧に対抗するような擁壁を設けることのあるのは前述のとおりであるが、擁壁は土圧（及びこれに加わる活荷重または積雪等）を受けて安定度を保つように設計せねばならぬ。その計算設計法については専門書に譲るが、その形には単純重力式と扶壁式（体の内側に地山または築堤の土砂を載せて自重の一部とする）と支壁式とがあり、安定度は外力の合力が基礎の中央1/3内に納まることと滑出のないように計算設計するのである。すなわち基礎底面（特に水平外力の反対側）を広くすることが経済的設計の要領であるが、切取の場合本線側に余裕がないので、いずれの場合も基礎コンクリートを側溝の底として路盤の方へできるだけ延し、特に支壁式では極端な場合、支壁の脚を鉄筋コンクリートにして、側溝の上をまたがせ、歩道は脚の上に乗せるなどが工夫である。

石垣は擁壁と同じ目的のものではあるが、異なるところはそれ自体では水平土圧の方向に倒れるほどねている（法が緩い）ことであり、かつその裏側に栗石を填充して土圧の吸収減少を計っていることである。従つてその頂部に近い方は能働土圧が少ないので、後にもたれかかる結果となり受働土圧が働らくが、後の土砂がイールドするといわゆる「引かれて」後に倒れ、頂部より2 m前後で水平な口があくことがあり、下部は外力の合力の水平分力が多いので、合力は石垣断面内に納まっているのに、滑り出しまは沈下の傾向のあるのが欠点である。この欠点を除くためには、基礎は、できれば基礎コンクリートの枕または様子胴木を入れ、少なくとも捨てコンクリートをして、長手の方向に連続せしめ、裏栗はできれば下から上まで全部良質のズリまたは雑石で、それ自体が形を持つようにして（すなわち背面も少なくとも1分くらいの外勾配をつけて空積させる）おけば間違いが無い。この裏栗の施工を完全にすることは絶対必要であり、少なくとも1日に石垣を積み高さだけをあらかじめ積んでおいて後に土砂の充填と石積を行うことが必要であつて、かくすれば引かれて口があいたり、土圧でハラムことなど絶対に無い。

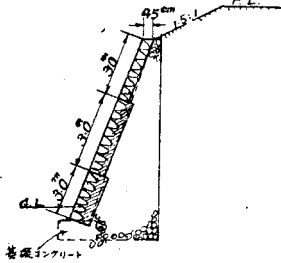
国鉄では練積石垣の法勾配は高さ3 mまでは3分、総高7.5 mまで3分5厘、それ以上は4分を標準と

しているが、理論的には城壁または波除けの石垣のように、垂直からだんだんにねるいわゆる「お寺勾配」とする方が、土圧合力曲線の形と一致して合理的である。これを実用上高さによつて、土圧合力に対応するよう法勾配をかえているのである（図-3 参照）。

石垣の種類には、石材が間知石、粗角石、割石、雑石、玉石等の種類があり、積み方には設計上空積と練積裏コンクリート込とがある。最近普通用いられるのは割石、雑石、玉石等の練積と空積である。間知は石材が控え

の取れるよい産地がなければならぬので、一部の地方に限られ、粗角石（ときには切石）練積は型枠代用のコンクリート橋脚表面（砂礫を含む流水による磨耗防

図-3 築堤石垣標準図



止）張りに用いられることが多い。またときにはコンクリートブロック積または煉瓦積が切石積の代りに用いられるが、主として、石造橋の表面、頂面とか駅のホームの笠石とか大建築物に用いられる。

一番普通な雑石（割石または玉石を含む）練積について述べるが、切取または土圧がない場合は頂部の厚さを裏コンクリートとも 30 cm, 以下 3 m ごとに 45, 60, 75, 90 cm と増すが、築堤のように土圧の多い場合は頂部の厚さを 45 cm とし、以下 60 cm としている。従つて築堤でも、法肩から離れており資料も隧道のズリなどで土圧は少ないが、川岸だから護岸として石垣が要るといふような場合は、頂部厚さ 30 cm で十分である。なお厚さの境目は設計上段がついているのであるが、実際は図の点線のように平均線で施工し、裏コンクリートの量はセメントないしはコンクリートの使用量で検すべきである。なお石垣の設計は、断面図を基本とし、平面図を参考として、展開図を作つて数量を計算する。

土木学会編集

土木工学ハンドブック

☆ 本書の特色 ☆

- I 最高の編集と執筆陣 本書は土木学会がその総力を結集し、最高権威者 250 名を網羅、厳重な審査・討議と機能的な集約編集により完成された斯学の豪華決定版！
- II 最新・最高のデータ 急激な現下学術・技術の進歩に即応し、広汎な内外諸文献・最新の各種データを収録し、更にこれを徹底的に再検討して贈る絶対自信の典拠！
- III 豊富な数表・図版 重要な図表・数表は細大洩さず収録し、且つこれを最も実用的に配列す。特に図版の再生と縮写等には最高技術を駆使してその特色を發揮す！
- IV 優れた実用性と信頼性 設計・施行にそのまま役立つ実際の資料と計算図表を重んじ、これに正確さ、見易さ、利用の簡便を考慮した学徒・技術者座右必携の書！
- V 堅牢な製本と鮮明な印刷 便覧はその繁多な利用度に耐える堅牢さが必須であるが、本書は更に用紙の特選・装幀の美麗堅固等にも造本技術の粋をつくす！

東京・千代田区大手町2ノ4
土木学会

御申出次第内容見本急送す

東京・港区赤坂溜池5
技報堂

会員特別優待

予約特価（前金一時払） ¥ 2200 円
 〆 切 昭和 28 年 12 月末日
 分割払特価（5 回分割払） ¥ 2500 円
 〆 切 昭和 28 年 12 月末日
 定価 ¥ 2800 円 地方定価 ¥ 2850 円

委員長 東大教授 工学博士 福田 武雄

執筆者総数 250 名

予約申込はお早く

A 5 判・オフセット縮写刷・約 1600 頁
 別渡上質紙・上クロス装・堅牢函入豪華本