

工用道路の設計と安全

岡本直樹

工用運搬道路の設計と規格は、施工中の安全運行を左右し、機械土工の運搬効率とコストにも大きく影響して土工計画の死命を決する。この運搬道路の設計法として、線形設定の基本的な考え、幅員と車幅、視距や縦断勾配とブレーキ性能の関係等について述べ、これらの安全規格を示す。また、路盤厚の設計法、暴走止め設備、評価法についても紹介する。

キーワード：工用道路、運搬道路、走路、道路設計、安全、ダンプトラック、搬土機械、ブレーキ性能、リターダ

1. はじめに

土木工事や露天掘鉱山等のアースムービングでは、搬土車両が安全かつ効率よく走行するための工用仮設道路を計画する。この工用仮設道路は任意仮設が多いが、指定仮設でも着工後に施工者側の提案で設計変更する場合が多い。いずれにしても、これらの工用運搬道路は安全運行に配慮した上で、直接搬土コスト+仮設費（道路造成費+維持補修費）が最小となるように設計する必要がある。

しかし、工用道路の設計に関する国内文献が少なく、その上、近年の搬土車両のモデルチェンジで、従来規格が合わなくなっていること等から問合せが多い。

運搬道路の安全規格に関する参考書には、米国鉱山局のマニュアルが有り世界的に利用されている。また、過去には国内現場の調査報告書もあり、これらは運搬路走行に関する我々の経験値とよく合致していたので、これらを踏まえて運搬道路造成の社内規格を設定していた。

今回、重ダンプトラックの近年の大型化を考慮して、これら規格の見直しと再整理を行ってみた。

2. 運搬道路の設計

(1) 一般

運搬路の線形設定は、地形と土量配分計画を基に検討する。道路幅員は投入車両の車幅によって決定される。設計速度は20～40km/hの設定が多いが、搬土効率を上げるためにできるだけ高速運搬が望ましい。

しかし、坂路では縦断勾配によって走行速度が制限され、縦断勾配は搬土機械のブレーキ性能と牽引力によって制約される。なお、大型搬土機械を使用する場合、工用道路は運搬専用道路として、安全運転と運搬効率の見地から他の資材運搬車等の通行路と区分することが望ましい。



写真-1 運搬道路

(2) 道路幅員

道路の幅員は、車両の流れが中断することなくスムーズに効率よく、安全に余裕をもって運転ができる広さが必要である。大型工用機械が走行する工用道路と一般道路の規格の大きな違いはこの道路幅員にある。車線幅員は、投入車両の車幅に依存する。国内の土木工事でよく使われる重ダンプトラックの現行モデルは、90t・46t・32t・25t積みであるので、これらの必要幅員を検討する。また、工用道路の車線数は、国内では2車線の対面通行が一般的で、狭隘な場所等では1車線の一方通行となっている場合がある。3車線以上の工用道路は国内では希である。

工事用道路の基準を示した国内文献は少ないが、ダム用工事用道路では表-1のような規格がある。急峻な地形での造成土工量を考慮して狭めの幅員としているようである。しかし、初期設計はこの規格で設計していても、安全走行に配慮して施工中に拡幅している場合が多い。

表-1 ダム工事用道路の幅員

ダンプトラックの規格	幅員 (m)	
	1車線	2車線
10t	4	7
20t	5.5	9
32t	7.5	12
46t	8	13

また、近年のモデルチェンジでトラックが大型化し、車幅が広がっているため、この点からも再検討が必要である。国内工事でよく使われている46t級ダンプトラックを例にとるとCAT773の仕様は図-1と表-2のように大型化してきて、コマツHD465も同様に大型化が進んでいる。

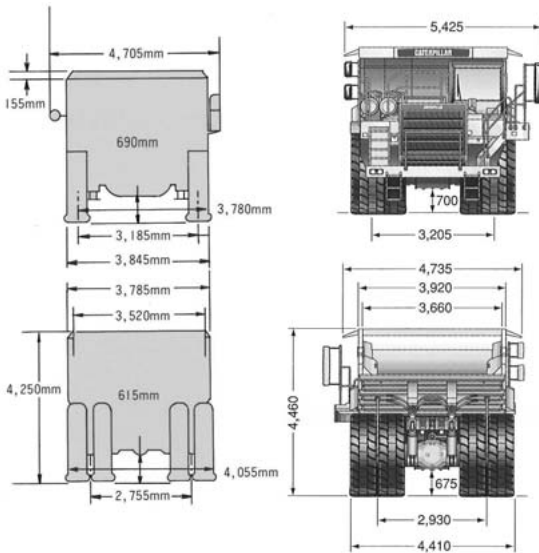


図-1 車幅寸法図比較 (773B と 773F)

表-2 46t級ダンプトラックの仕様変遷

型式	定格積載量t	全幅 mm	車幅 mm
773B	45.4	4,705	4,055
773D/E	45.4	5,080	4,460
773F	48.0	5,425	4,410

米国の安全基準となっている鉱山局の幅員基準を見ると、2車線道で車両の最大幅の3.5倍以上としている。1車線の場合は車両全幅の2倍を必要とし、増加車線毎に1.5倍を加算する。すなわち、図-2 (車両

全幅 12' の例) のように2車線道では3.5倍、3車線道では5倍を最低基準としている。なお、1車線道で後述する制動停止視距が確保されていない場所は、追突を避けるために2.5倍とする。

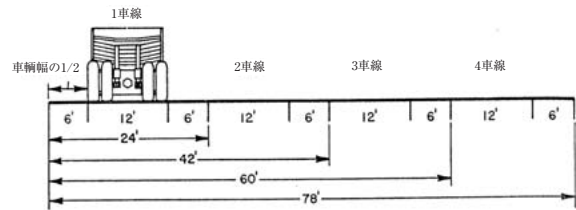
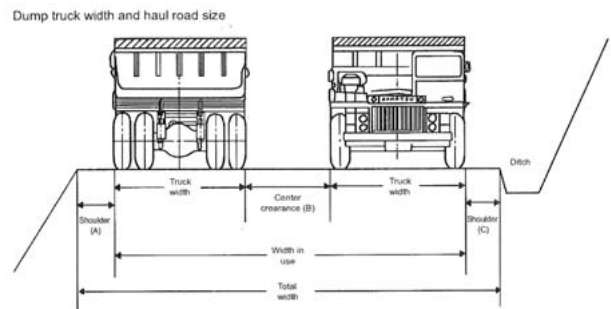


図-2 米国鉱山局の車線幅員基準

これらの規格に準拠すると現行機種での道路幅員は表-3のようになる。なお、参考にコマツの推奨幅員規格を図-3に示す。片切片盛での例なので、両側盛土とすると46tのHD465-7で18.9mとなり、表-3とはほぼ一致する。

表-3 運搬路の幅員

機種	車両全幅 m	2車線 m	1車線 m
90t	6.1	22	12
46t	5.4	19	11
32t	4.5	16	9
25t	4.0	14	8



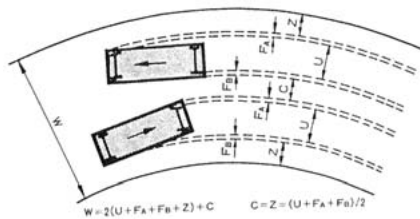
Model	Speed km/h (MPH)	Center clearance (B) m (ft.in)	Downhill shoulder (A) m (ft.in)	Uphill shoulder (C) m (ft.in)	Total road width m (ft.in)
HD255-5	20 (12.4)	2.0 (6'7")	2.0 (6'7")	1.0 (3'3")	11.4 (37'5")
Truck width	30 (18.6)	2.5 (8'2")	2.0 (6'7")	1.5 (4'11")	12.4 (40'8")
3.2 m (10'6")	40 (24.9)	3.0 (9'10")	2.0 (6'7")	1.5 (4'11")	12.9 (42'4")
HD325-6	20 (12.4)	3.0 (9'10")	2.0 (6'7")	1.5 (4'11")	13.8 (45'3")
Truck width	30 (18.6)	3.0 (9'10")	3.0 (9'10")	1.5 (4'11")	14.9 (48'11")
3.7 m (12'2")	40 (24.9)	3.5 (11'6")	3.0 (9'10")	2.0 (6'7")	15.9 (52'2")
HD405-6	20 (12.4)	3.0 (9'10")	2.0 (6'7")	1.5 (4'11")	13.8 (45'3")
Truck width	30 (18.6)	3.0 (9'10")	3.0 (9'10")	1.5 (4'11")	14.9 (48'11")
3.7 m (12'2")	40 (24.9)	3.5 (11'6")	3.0 (9'10")	2.0 (6'7")	15.9 (52'2")
HD465-7	20 (12.4)	3.0 (9'10")	3.0 (9'10")	1.5 (4'11")	15.9 (52'2")
Truck width	30 (18.6)	3.5 (11'6")	3.0 (9'10")	2.0 (6'7")	16.9 (55'5")
4.2 m (13'9")	40 (24.9)	3.5 (11'6")	3.5 (11'6")	2.5 (8'2")	17.9 (58'9")
HD605-7	20 (12.4)	3.0 (9'10")	3.0 (9'10")	1.5 (4'11")	15.9 (52'2")
Truck width	30 (18.6)	3.5 (11'6")	3.0 (9'10")	2.0 (6'7")	16.9 (55'5")
4.2 m (13'9")	40 (24.9)	3.5 (11'6")	3.5 (11'6")	2.5 (8'2")	17.9 (58'9")
HD785-5	20 (12.4)	3.5 (11'6")	3.5 (11'6")	2.5 (8'2")	20.9 (68'7")
Truck width	30 (18.6)	4.0 (13'1")	4.5 (14'9")	2.5 (8'2")	22.4 (73'8")
5.7 m (18'9")	40 (24.9)	4.5 (14'9")	4.5 (14'9")	3.0 (9'10")	23.4 (76'9")
HD985-3	20 (12.4)	3.5 (11'6")	3.5 (11'6")	2.5 (8'2")	20.9 (68'7")
Truck width	30 (18.6)	4.0 (13'1")	4.5 (14'9")	2.5 (8'2")	22.4 (73'8")
5.7 m (18'9")	40 (24.9)	4.5 (14'9")	4.5 (14'9")	3.0 (9'10")	23.4 (76'9")
HD1200-1	20 (12.4)	3.5 (11'6")	3.5 (11'6")	2.5 (8'2")	22.1 (72'8")
Truck width	30 (18.6)	4.0 (13'1")	4.5 (14'9")	2.5 (8'2")	23.6 (77'5")
6.3 m (20'9")	40 (24.9)	4.5 (14'9")	4.5 (14'9")	3.0 (9'10")	24.6 (80'9")
HD1500	20 (12.4)	3.5 (11'6")	3.5 (11'6")	2.5 (8'2")	22.7 (74'6")
Truck width	30 (18.6)	4.0 (13'1")	4.5 (14'9")	2.5 (8'2")	24.2 (79'5")
6.62 m (21'9")	40 (24.9)	4.5 (14'9")	4.5 (14'9")	3.0 (9'10")	25.2 (82'8")

図-3 コマツの推奨幅員

(3) カーブ幅員

曲線部においては、内輪差により前輪と後輪の軌跡が異なるので拡幅が必要となる。図-4は米鉱山局

の拡幅量の考え方であるが、簡便的には曲線半径 60 ~ 15m の場合で 1 ~ 2m 拡幅すればよい。正確な拡幅量を求める場合は「道路構造令」の計算式を用いる。



U : 車両の前輪トレッド
 FA : 前部張出部の幅
 FB : 後部張出部の幅
 C : 横方向のゆとり幅
 Z : カーブを走行する難しさを考慮した路肩幅

図-4 曲線部の拡幅

(4) 線形

運搬走路の線形設定は、土量配分計画を基に土取場と盛場の空間的位置関係から地形、設計速度を勘案して縦断勾配、曲率、視距に配慮して計画する。

(a) 運土計画との関係

土量配分計画は、線土工（道路工事等）の場合はマスケープ（土積曲線）を利用して作成し、面土工（宅地・敷地造成等）の場合は線形計画法を利用した最適土量配分計画が通常行われる。フィルダムの場合は、材料別の用土計画（Material Flow）が立てられ、それに基づいて運搬経路の設定が行われる。また、原石山等の土岩採取工事では、パイロット道計画と切羽展開を考慮した取付道路の検討が必要となる。

(b) 視距と制動停止距離

車両の運転手が道路上で見通すことのできる前方距離を視距という。制動停止視距は、前方に故障車等の障害物を認めた場合にブレーキをかけ停車できる距離で、視距はこの長さ以上を常に確保する必要がある。

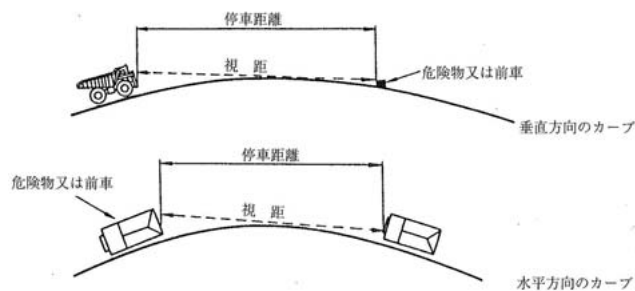


図-5 停車距離と視距

制動停止視距 D (m) は、速度 V (km/h), g = 9.8m/s², タイヤと路面との縦向き摩擦係数 f, 反応

時間 t = 2.5 (sec) とすると次式で表せる。

$$D = \frac{V}{3.6}t + \frac{V^2}{2gf(3.6)^2} = 0.694V + 0.00394 \frac{V^2}{f}$$

図-6 は、車両総質量 45 ~ 90 t ダンプトラックの勾配毎の一般的な走行速度と制動停止距離の関係を示したもので、ブレーキ限界迄を読取る。また、視距と車間は得られた停止距離以上を保つ必要がある。

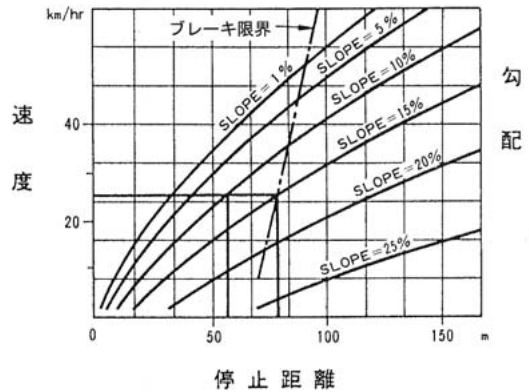


図-6 車両総質量 45 ~ 90t の停止距離特性

(c) 縦断勾配

①ブレーキ性能と降坂速度

運搬路は土取場と盛場を最短経路で結ぶように計画するが、運搬路の縦断勾配の限界は、走行車両のブレーキ能力と登坂能力により決まってくる。特に降坂時はブレーキのオーバーヒートの恐れがあるので、安全上ブレーキの能力を考慮した勾配とする必要がある。

図-7 は車両が 450m 降坂する時のオイルディスク式リターダの性能を表している。このブレーキ性能曲線によって、縦断勾配と車両総質量から使用速度段と降坂速度が求められる。また、図-7 のブレーキは、

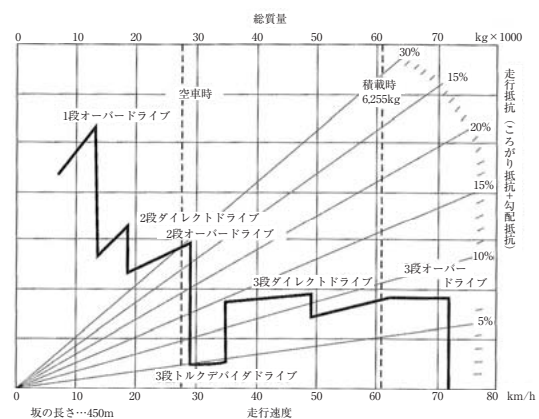
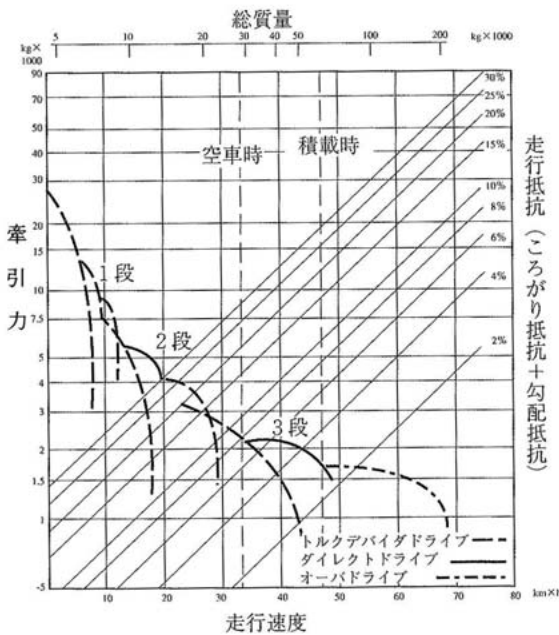


図-7 ブレーキ性能曲線

29～34km/h 走行時に弱点があることを示している。近年、ダンプトラックのブレーキ性能が向上し、オートリターダを装備した機種も増加して、安全運転が容易となってきている。しかし、一般にアーティキュレート式ダンプトラックのブレーキは改善が遅れ、まだブレーキ性能の低い機種もあるので注意が必要である。

②牽引力曲線

ダンプトラック等の登坂能力は、牽引力曲線（リンブルカーブ）を利用する。牽引力曲線は、車両総重量・走行抵抗・変速ギア・牽引力・走行速度の関係を表している。このグラフより、走行条件に適った牽引力・走行速度等を求める（図—8）。



図—8 牽引力曲線

(d) 平面線形

運搬路の平面線形は、地形・視距・設計速度等を考慮した直線・円・緩和曲線から構成される。

曲線部の最小半径は表—4を基準とするが、設置する曲線半径や片勾配は、走行速度との次の関係式で求める。曲線半径 R (m)・片勾配 i・走行速度 V (km/h)・横切り摩擦係数 f との関係式は次の通り。

$$R = \frac{V^2}{127(f+i)}$$

単曲線と直線区間の間には緩和区間を設ける。平面線形と縦断線形の組合せでは、視覚的な検討を行い安全に配慮する。その他の設計上の留意点等は道路構造令を参照するとよい。

合流部はスムーズな合流が可能ないように運転視界と交差角に配慮する。幹線路同士の十字交差は避けるべきであるが、交通量が多い場合には立体交差も検討する。

縦断勾配・曲線半径についての基準を表—4に示す。勾配については上限値を、曲率半径は下限値を示している。また、カッコ内は短区間、あるいは短期間の場合の許容値である。

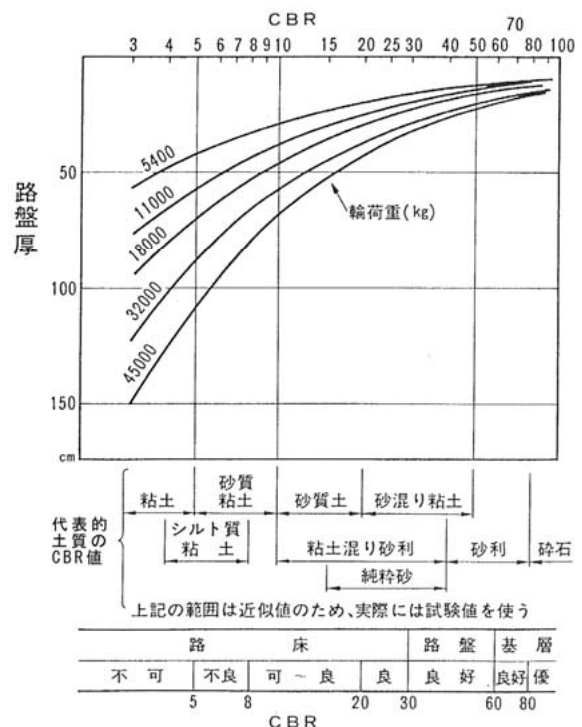
表—4 縦断勾配・曲線半径

	縦断勾配	曲線半径
幹線	8% (10%)	50 m
支線	1.3% (1.5%)	30 m (20m)

ちなみに米国鉱山経営者の多くは持続勾配が7～9%を超えないのが操業上望ましいと考えている。また、米国の多くの州の法律が持続勾配の最大許容を10%と規定している。

(5) 路盤厚

路盤厚は経験的に求める場合も多いが、合理的に求めるには CBR カーブを利用するとよい。図—9は、米鉱山局の CBR カーブを基にしたもので、輪荷重毎の CBR 値と路盤厚の関係を示している。輪荷重は最大輪荷重を用い、2軸車両の場合は20%増しとする。以下に46tダンプトラック運搬路の設計例を示す（図—10）。



図—9 土の分類と CBR カーブ

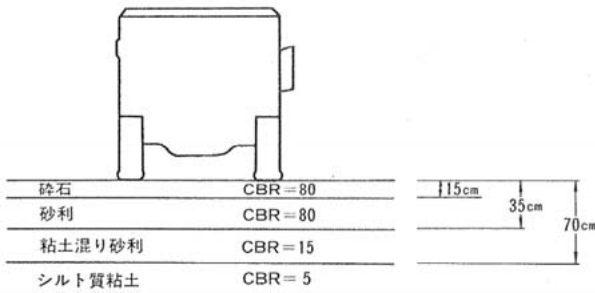


図-10 運搬路断面図例

走行条件：45t ダンプトラック
 地盤条件：CBR = 5 のシルト質粘土
 計算法：

- ①最大輪荷重 $15,000 \times 1.2 = 18,000\text{kg}$
- ② 18,000kg と CBR = 5 の交点は 70cm の深さ
- ③路床材に適する粘土混り砂利が CBR = 15 程度で、18,000kg との交点が 35cm の深さ
- ④路盤材の砂利が CBR = 80 なので 18,000kg との交点は 15cm 深さとなる
- ⑤表層は良質の碎石を使用する CBR = 80

(6) 暴走止め設備

長い下り坂が持続する場合には、降坂時にブレーキ(リターダ)のオーバーヒートによる暴走の恐れがある。この暴走止め設備として、米国鉱山局のマニュアルにある退避車線と乗上げ小堤とを紹介する。なお、暴走止め設備の設置間隔 S_1 (m) は、許容最高車速に達するまでの走行距離とすると、 ΔV = 暴走中の増加速度 (m/s), $g = 9.8\text{m/s}^2$, θ = 下り勾配 (度), b = ころがり抵抗係数 (0.05) として次式で求まる。

$$S_1 = \frac{\Delta V^2}{2g(\sin\theta - b)}$$

(a) 待避車線

これは暴走止め設備としてよく採用される暴走時の待避車線である。進入部・減速部・停車部からなる。待避線は縦断勾配と許容最高速度に応じて設置間隔を前式で求める。また、待避線へ安全に進入できるよう進入部の縦断曲線、平面曲線、緩和曲線、片勾配、車線幅を設計する。減速部は逆勾配を利用して速度を下げるが、待避線の長さ S_2 (m) は、 V = 入口での初速 (m/s), $g = 9.8\text{m/s}^2$, θ = 上り勾配 (度), b = ころがり抵抗係数として次式で求まる。

$$S_2 = \frac{V^2}{2g(\sin\theta + b)}$$

ころがり抵抗係数は 0.2 を使う。減速区間の最後の 1/4 で車両を停止させ逆走を防止する。その方法には、水平区間、後述の乗上げ小堤、砂や泥ピット、土手やくぼみ等の設置がある。

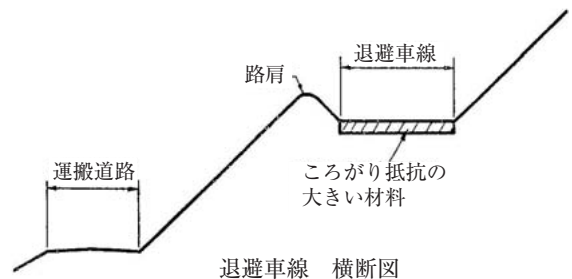
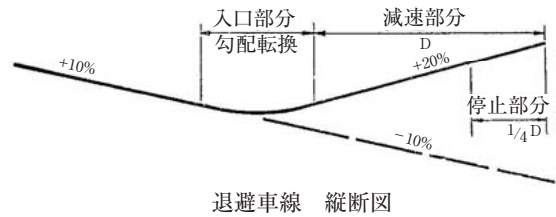
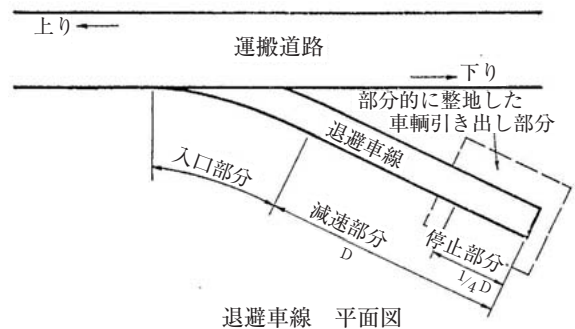


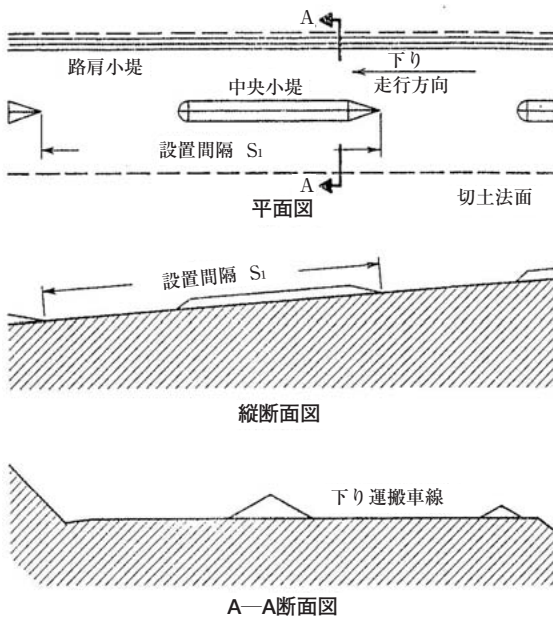
図-11 退避車線

(b) 乗上げ小堤

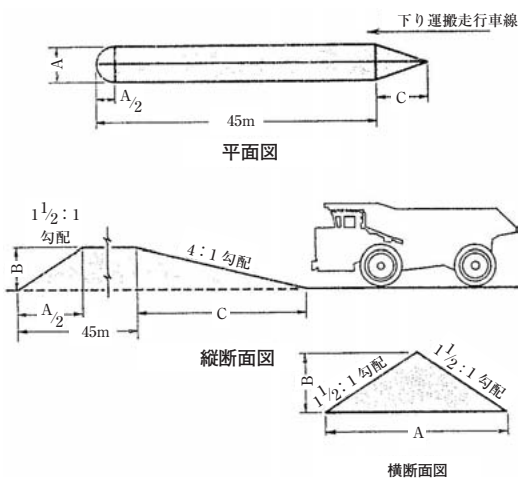
これは豪州の鉱山で暴走止めとして、考案され実績を上げている設備で、図-12のように車線境に中央分離帯としても機能する乗上げ小堤を断続的に設置するものである。その断面サイズは走行車両の車両総質量・クリアランス等を考慮して決定し、車両が乗上げても車体が破損しないように碎石で構築する。32 ~ 45t ダンプトラックの場合の乗上げ小堤の寸法は、 $A = 3.6 \sim 4.6\text{m}$, $B = 1.2 \sim 1.5\text{m}$, $C = 5 \sim 6\text{m}$ 位である (図-13)。

(7) 評価

道路設計に 3D-CAD を利用すると、設計作業が迅速になるほか、S字カーブ等の切盛法面の干渉チェックや造成数量の自動算出により造成費の積算評価が容易となる。また、走行シミュレーションを利用して、



図一 12 乗上げ小堤の設置間隔

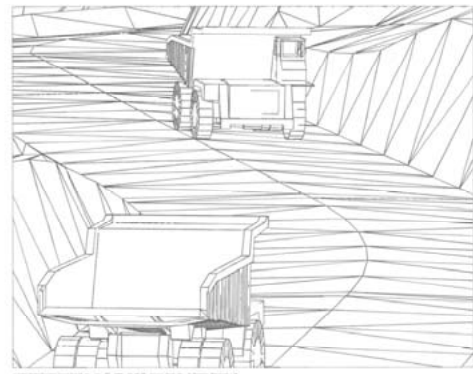


図一 13 乗上げ小堤の寸法

設計した運搬道路の評価を我々を行っている。車両総質量と走路の走行抵抗（勾配抵抗＋ころがり抵抗）から前記の車両個々の牽引力曲線を利用して走行速度の変化を連続的に計算し、サイクルタイムを算出するので、ブレーキ性能曲線による降坂車速の算出や曲線部の減速も考慮可能である。離合箇所や交差点等で待ち行列が発生する場合は、待ち行列型シミュレーションによって評価する。

また、3D-CADのウォークスルー機能と走行シミュレーションを組合せると走行中の運転席からの視界や視距等のドライバビリティを実走行速度でチェックできる。図一14は、設計した工事用道路の走行シミュレーションの1場面をワイヤフレームで表示している。

ユレーションの1場面をワイヤフレームで表示している。



図一 14 3D-CADによる運搬路設計

3. おわりに

重ダンプトラック等の工事用道路の安全対策・設計法・規格について、公刊資料が少ないためか、コンサルタント等からの問い合わせが多い。そこで、運搬道路に関する安全規格・設計法等の概略を紹介することにした。誌面の都合で省略や説明不足の箇所も多いが、これらの情報に不案内だった方々の参考になれば幸いである。また、適切な運搬道路の設計は、安全で効率的な運搬を推進し、省エネ運転にも繋がり地球温暖化防止にも貢献できると信じている。

JICMA

《参考文献》

- 1) W.W.Kaufman, J.C.Ault: 露天掘り鉱山運搬道路の設計-マニュアル, 米国内務省鉱山局 (1977)
- 2) Chironis, Nicholas P.: Coal age operating handbook of coal surface mining and reclamation, '78.8
- 3) CMI: フィルダムの運搬道路に関する報告書, '79.12
- 4) 山崎建設: 施工計画, '80.5
- 5) 岡本: 搬土機械の走行シミュレーションにおける走行速度の合理的決定法, 第9回建設マネジメント問題に関する研究発表・討論会講演集, 土木学会, '91.12
- 6) 米国労働省: 運搬道路検査ハンドブック, '99.6
- 7) JICMA: 建設機械施工ハンドブック, '01.2
- 8) キャラビラー三菱・コマツ: 技術資料
- 9) 土工教室/走路計画, <http://www.yamazaki.co.jp>

【筆者紹介】

岡本 直樹 (おかもと なおき)
山崎建設(株)
生産技術室
技術士 (建設部門)

