

◆ 報 文 ◆

防護柵連続基礎の設計方法に関する検討

安藤和彦* 森 望**

1. 研究の背景

平成 10 年 11 月に防護柵の設置基準¹⁾ (以下、設置基準と略す。) が通達され、これに併せてガードレール等の車両用防護柵の構造および基礎の仕様が車両用防護柵標準仕様 (平成 11 年 3 月、建設省道路局道路環境課長通達) で示された。また、同標準仕様を解説する車両用防護柵標準仕様・同解説²⁾ (以下、標準仕様・解説と略す。) には、土中に支柱を設置する場合の基礎の埋め込みについて、背面土量が少ない場合の補完方法としてコンクリート根巻きの考え方が示されて、一般的な土工区間ではこれらの設計方法によって基礎の設計が行えるものとなっている。しかし、路肩条件が厳しく背面土量が極端に少ない箇所、あるいは支柱の埋め込みが十分行えない箇所では、コンクリート製の連続基礎が用いられる場合も多い。

連続基礎の設計の考え方については、これまで明示されたものがなく、旧基準である防護柵設置要綱³⁾ (昭和 47 年、(社)日本道路協会、以下、要綱と略す。) に示されている支柱 1 本あたりのコンクリート質量を確保する方法、あるいは基礎を一体の構造物として取り扱い、既往の基準^{4) 5)} などの構造物設計の考え方を参考に、安定計算を独自に行う方法などが用いられてきた。

以下に、従来用いられてきた設計方法の特徴を示す。

1.1 支柱 1 本あたりに必要となる基礎質量を確保する方法

要綱では、コンクリート基礎に防護柵を設置する場合の支柱 1 本あたりに必要となるコンクリートの質量として、防護柵の強度を示す種別に応じて、種別 S 及び種別 A では 2.5t、種別 B では 1.8t、種別 C では 1.5t を示している。連続基礎に 2m スパンで支柱を設置する場合を例にみれば、各支柱

が設置されている基礎部分を中心として前後 1m、計 2m 長を一つのブロックとみなし、このブロックについて支柱 1 本当たりのコンクリート質量を確保する。この方法は、防護柵連続基礎の代表的な設計方法であり、これまで約 40 年にわたる実績を有している。ただし、要綱では種別 A, B, C の支柱 1 本当たりの必要となる質量が示されているのみで、連続基礎の構造物としての安定性等を確認することができない。また要綱の方法では、一般的な土木構造物の設計方法との関連性が不明であるため、新たな防護柵などが開発された場合に応用することは難しい。

1.2 構造物端部に衝突荷重を作用させ安定計算を行う方法

最も条件として厳しいとされる構造物端部に衝突荷重が作用する場合を想定した設計の考え方⁵⁾ を参考に、連続基礎の安定性を検討する方法もある。この場合、基礎の連続体としての抵抗が考慮されていないため、構造が大きくなり不経済になりやすい。

1.3 連続基礎をブロックに区切って安定計算を行う方法

橋梁地覆に防護柵を設置した場合のブロック割りの考え方⁴⁾ を参考に、連続する防護柵の支柱 p に着目し、支柱 p が設置されている L 長のブロック部分を取り出し (図-1)、このブロック単独の安定計算を行う便宜的な方法も一部とられてきた。

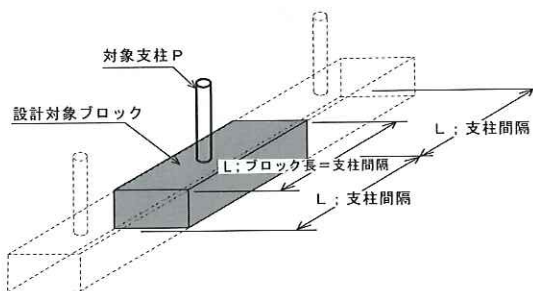


図-1 連続基礎のブロック割りの考え方

A Design Method of Concrete Base Structure for Traffic Barriers

この方法は、各々の支柱を独立的に取り扱うため設計は容易であるが、1.2の端部に荷重を作用させる場合と同様に、連続体として衝突荷重に抵抗する連続基礎の特性が反映されていないので、現実の衝突に対する基礎の抵抗を的確に評価しているとはいえず、過大な構造となる。

これらの方法は、どの方法を使うかによって基礎の大きさが変わるため、車両衝突時の安全性や施工費等の面から、実際の衝突状況を踏まえ、汎用性がありかつ適切な基礎の設計方法を確認する必要がある。

2. 検討概要

2.1 検討目的

本検討は、防護柵のコンクリート製連続基礎を合理的に設計するための方法を明らかにすることを目的として行った。特に、要綱による基礎がこれまで約40年に渡る実績を有していることから、この基礎質量を念頭に、実際の衝突挙動に則した合理的な設計が行える方法について検討を行った。なお、支柱を連続基礎に設置する際の、支柱周りの配筋などについては、設置基準に準拠するものとし、特にここでは取り扱わない。

2.2 検討内容

車両が衝突したときに、車両を円滑に誘導する強度を有する防護柵基礎の設計方法には、二通りの考え方がある(図-2参照)。

一つは、上記で述べた連続基礎を用いる方法(図-2④)で、この方法では、衝突エネルギーを車両および防護柵本体(基礎上)の変形で吸収するため、車両が防護柵に衝突した場合に基礎はほとんど変形・移動しない質量、強度を有する基礎が設計される(この方法を、以下、構造物式という)。

他方は、防護柵設置時の最も一般的で経済的な方法である土中式基礎である。これは、路肩に支柱を埋め込んだ時に、背面土によって支柱の抵抗力を得るものである(図-2①)。この時、防護柵を設置する個所の背面土量が少ない場合にはコンクリート根巻きによってこれを補う(図-2②)。背面土量が少なすぎて、かつ支柱の埋め込みが十分とれない時は、必然的にコンクリート根巻きが大きくなり、根巻き間が連結して連続基礎となる場合もある(図-2③)。これらの土中式基礎は、衝突エネルギーを車体、防護柵本体およ

び基礎の変形によって吸収するものであり、例えば連続基礎であっても基本的に車両衝突時に移動・変形する。この場合でも、車両は円滑に誘導される。

これら基礎の特徴を基に、一般的な防護柵基礎設計の考え方を整理したものが、図-3である。

本検討では、コンクリート連続基礎について、車両衝突後も補修する必要のない構造物式の設計

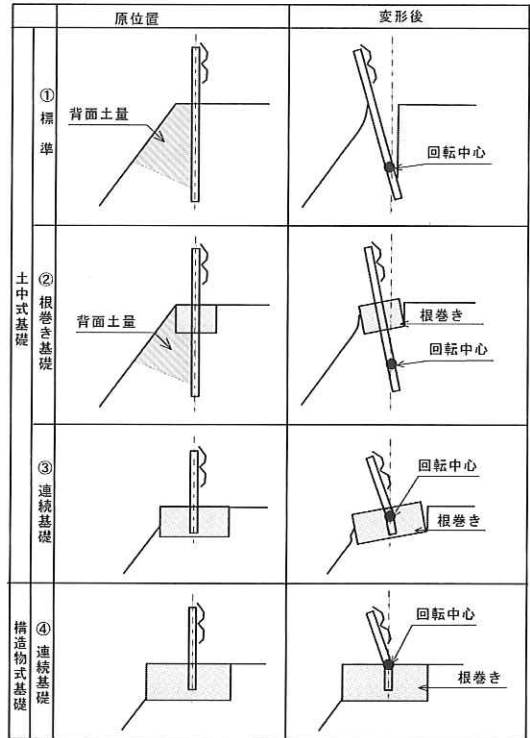


図-2 基礎の形式と衝突後の変形状況

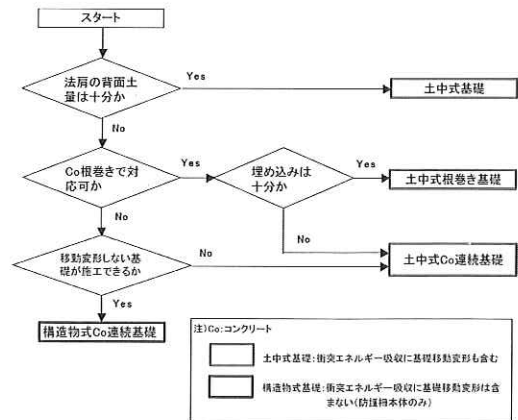


図-3 防護柵基礎設計の考え方

方法を基本として設計方法の検討を行うものとし、これと、従来の方で設計された土中式の連続基礎との比較を行うものとした。

2.3 検討手順

検討の手順としては、連続基礎の設計方法を明らかにするため、設計に用いる荷重の考え方を整理し、これを用いた連続基礎の設計方法をまとめ、次に、防護柵種別毎に代表的な連続基礎の構造を検討するものとした。

3. 設計に用いる荷重の考え方

3.1 設計方法の基本的考え方

車両が連続基礎に設置された防護柵に衝突した場合、防護柵に加わる衝突荷重は、防護柵の支柱を介して基礎の特定範囲に伝達され、これに対して基礎は目地間で区切られる長さを一つのブロックとして抵抗する。

そこで設計方法としては、目地間を一つのブロックとする連続基礎に集中荷重が作用した場合を想定して設計を行うものとする。

また、設計に用いる衝突荷重についてはすでに報告⁶⁾があるが、この報告では動荷重を用いていることや車両輪荷重による転倒・滑動への抵抗を考慮していないことから、安全側の設計になっていると考えられる。そこで、これらを踏まえ、衝突荷重を見直すとともに、輪荷重を設計に取り入れる方法について検討を行った。

3.2 衝突荷重

車両が防護柵に衝突した時に防護柵および基礎が抵抗する力は、式 (1) で表される⁷⁾ (図-4)。

$$R_t = \sum r_i + r_T \dots \dots \dots (1)$$

ここで R_t : 抵抗力の総和
 r_i : 各支柱の抵抗力
 r_T : ビームの張力 (T) による反力

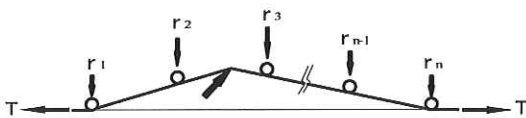


図-4 車両衝突時の抵抗力

式 (1) の右辺第 1 項は、支柱に関連する項であり、第 2 項は横梁に関連する項である。これらのうち、第 2 項は、基礎の長手方向に作用する張力 (T) による抵抗力であり、基礎の転倒や滑動

には直接影響しないので、基礎の路外方向への安定計算には、支柱の抵抗力 $\sum r_i$ を設計に用いる衝突荷重 P_t として考えればよい。

このとき衝突荷重は、衝突時の支柱の抵抗力を基に検討する⁶⁾。この抵抗力は、車両衝突実験で計測された動ひずみを基に算出されたモーメントを、防護柵横梁の中心高さ (ここでは $h=600\text{mm}$) から換算した瞬間的な力の最大値 (動荷重値) である。この値を衝突荷重として設計に用いれば、基礎の安定性で安全側になるものの過大な構造となりやすく、構造物の設計等では、静荷重試験の値 (静荷重値) で十分安全な設計が行えるといわれている^{8), 9)}。

これについて、支柱が塑性変形に至ったときの静荷重値および動荷重値を求める実験を行った結果、表-1 のとおりとなった。大きく変形する防護柵支柱の動荷重を精度良く計測することは難しいが、静荷重値は動荷重値に比べて半分程度まで小さくなっていることがわかる。また、防護柵や基礎の条件は異なるものの、動荷重値と静荷重値の比を $1:0.7$ ⁸⁾ や、 $1:0.68$ ¹⁰⁾ としている報告もある。以上を考慮し、静荷重値は動荷重値の 7 割と想定し、動荷重値を 7 割に減じて衝突荷重として用いることとする。

3.3 輪荷重

道路橋示方書の張り出し床版の設計では、車両の輪荷重が考慮される。防護柵の連続基礎でも、車両衝突時には、輪荷重が作用する。このとき輪荷重は、転倒、滑動に対しては基礎の安定側に、地盤支持力に対しては危険側に作用するが、いずれにしても設計上考慮すべき作用力と考える。そこで本検討では、輪荷重を基礎の設計に組み込むものとする。

表-1 静荷重値と動荷重値の比較

支柱種別*	静荷重最大値①	動荷重最大値②	比率 ①/②	支柱固定方式
C種	3.1	6.0	0.52	アンカー固定方式
A種	6.3	7.5	0.84	
S種	8.7	13.7	0.64	
C種	3.5	8.1	0.43	建て込み方式
A種	4.8	11.1	0.43	
S種	9.5	19.7	0.48	
平均			0.57	

*要綱による防護柵の種別

ところで、連続基礎に対する大型車貨物車の車輪の作用力（輪荷重）とその作用位置について実車衝突実験により確認を行った。その結果、車輪の作用力は支柱近傍の基礎底面全体で、車体の前部が防護柵に衝突した時点で30kN、車体後輪が通過した段階で50kN程度と推定される荷重増加が計測された。これらの値は、車両衝突時に確実に車輪が基礎を踏み付けていることを示している。

そこで、設計時に考慮する輪荷重として、防護柵基準による衝突車両（25トン貨物車）の前輪1輪当たり重量として、車両諸元¹¹⁾より25kNを設計に用いるものとする。

また輪荷重の作用位置は、車両衝突時に支柱中心部に乗り上げる形で車輪が通過していることから、タイヤ中心は支柱中心位置上を通過するものとする。

4. 設計方法

設計方法としては、一般の構造物と同様に転倒、滑動、地盤応力の安定計算⁵⁾について、図-5に示す基礎の条件により行う。このとき基礎の寸法として、支柱が400mm程度の根入れが行える高さを確保することを前提とする。

①転倒計算

A点回りの転倒側のモーメント M_a は、

$$M_a = P_t \times (h_p + h) + P_h \times y \dots \dots \dots (2)$$

ここで、 P_t : 衝突荷重

P_h : 主動土圧

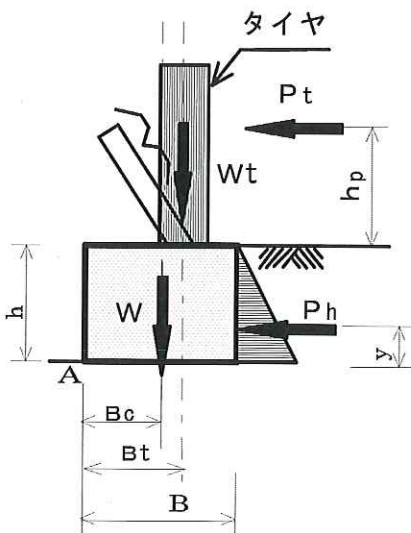


図-5 安定計算における作用力の関係

h_p : 路面から防護柵のビーム中心までの高さ、ビームが複数本ある場合は、各ビームの剛性から求められる重心高さ¹²⁾

また、転倒に抵抗する側のモーメント M_r は、

$$M_r = W \times B_c + W_t \times B_t \dots \dots \dots (3)$$

ここで W : 基礎重量

= 基礎質量 × 重力の加速度

W_t : 輪荷重

B_c : 基礎重量の作用中心から A 点までの水平距離

B_t : 輪荷重の作用中心から A 点までの距離、一般的には支柱中心から A 点までの距離

このとき、 $M_r/M_a > F_m$ であればよい。

ここで F_m は転倒に対する安全率である。

②滑動計算

滑動させる側の作用力 P_f は

$$P_f = P_t + P_h \dots \dots \dots (4)$$

また、滑動に対する抵抗力 R_f は

$$R_f = (W + W_t) \times \mu \dots \dots \dots (5)$$

ここで μ : 基礎と地盤との間の静的摩擦係数

このとき、 $R_f/P_f > F_s$ であればよい。

ここで F_s は滑動に対する安全率である。

③地盤応力計算

図-5における A 点から基礎重量および輪荷重の合力が作用する位置までの距離 d は、

$$d = (M_r - M_a) / (W + W_t) \dots \dots \dots (6)$$

また、偏心距離 e は、

$$e = B/2 - d \dots \dots \dots (7)$$

地盤に作用する力 P_b は、

$e \leq B/6$ の場合

$$P_b = (W + W_t) / (L \times B) \times (1 + 6 \times e/B) \dots \dots (8)$$

ここで、 L : 基礎長（目地間）

B : 基礎幅

$e > B/6$ の場合

$$P_b = 2(W + W_t) / (3 \times d \times L) \dots \dots \dots (9)$$

地盤支持力 $q/P_b > F_b$ であればよい。

ここで F_b は沈下に対する安全率である。

5. 代表的構造の検討

5.1 支柱間隔

標準仕様・解説では、土中式基礎と構造物式基礎を用いる場合の支柱間隔が異なっており、例えばガードレールでは構造物式基礎の支柱間隔は

2m、土中式基礎では4mである。これは、基礎の強度と防護柵の変形特性との関係を考慮したものであり、土中式に比べて回転中心(図-2参照)が地表面に近い構造物式基礎では、防護柵が大きく変形すると柵高が急激に低下し車両が乗り越えやすくなることから、防護柵の変形を抑制するために支柱間隔を短くしている。土中式の連続基礎の場合においても、基礎の根入れが浅くなることや、コンクリート基礎と支柱強度の関係から、図-2③に示すように、構造物式に近い変形特性を示し、車両衝突時に急激な柵高の低下が生じるおそれがある。従って車両衝突時の突破防止能力を高めるためには、土中式の連続基礎であっても、構造物式と同じ支柱間隔とすることが適当であると考えられる。

5.2 基礎の長さ

一般に連続基礎の一連の長さは、目地間として10m程度となる場合が多く、今回の検討でも10mの連続基礎について検討を行っている。基礎の長さが10mより長くなる場合については、過去のコンクリート製防護柵に関する研究結果⁸⁾でみると、防護柵全体長(50m)のうち滑動計算では局所的な変形を考慮して10mを設計の対象としており、今回検討している連続基礎についても10mを一体で衝突荷重に抵抗する長さとするのが適当であると考えられる。

5.3 代表的構造

前述の計算方法に基づき、設置基準に示されている防護柵種別(C,B,A,SC,SB,SA,SS)について代表的な構造を算出した。標準仕様・解説に示されている土中式の必要土量を全てコンクリート基

礎に換算した場合の必要基礎の寸法および質量、要綱に示されている基礎質量との大きさの比較を行うため、基礎の転倒、滑動および地盤応力に対する安全率として1.5、1.2、1.0を設定し計算を行った。土中式の連続基礎は、5.1の考え方にに基づき構造物式と同じ支柱間隔を前提として計算を行っている。また基礎寸法は、底面と高さとの関係により異なるので、ここでは基礎の高さを0.5mに固定している。

計算結果を表-2に示す。なお、計算にあたって設定した設計荷重は、3.1で示したとおり、衝突荷重を静荷重に換算した後、5kN単位で切り上げたものを用いている。

表-3からわかるとおり、要綱に示されている数値は、今回検討した設計方法で設計した場合、安全率1.0~1.2程度と同程度になっている。また種別SB及びSSでは、土中式基礎(車両衝突時に基礎が変形することが前提)よりも、構造物式(車両衝突時に基礎は健全な状態を保つことが前提)の基礎の方が、大きさが小さくて済む結果となった。高い強度の防護柵では、各支柱毎の背面土量がかかなり必要になるため、これをコンクリートの基礎に置き換えると、当然コンクリート量も多くなる。しかし連続基礎とすることで、実際はある程度の長さの基礎が一体的に衝突荷重に抵抗することから、必要背面土量が大きくなる土中式よりも構造物式の基礎が小さくなったものと考えられる。種別毎に比較すると、A種以上では土中式よりも構造物式の基礎が小さくなるか同程度であることから、A種以上では基礎の構造寸法が制限される場合でも、構造物式で設計すること

表-2 防護柵種別毎の代表的基礎構造

防護柵の種別	衝突荷重 F kN	土中式		構造物式						参考
		基礎幅 m	基礎重量 kN/m	安全率 1.0		安全率 1.2		安全率 1.5		
				基礎幅 m	基礎重量 kN/m	基礎幅 m	基礎重量 kN/m	基礎幅 m	基礎重量 kN/m	
C	30	0.35	4.0	0.67	7.7	0.75	8.6	0.84	9.7	7.35
B	30	0.43	4.9	0.67	7.7	0.75	8.6	0.84	9.7	8.82
A	55	1.07	12.3	0.94	10.8	1.03	11.9	1.17	13.5	12.25
SC	60	1.00	11.5	1.02	11.7	1.12	12.9	1.27	14.6	
SB	80	1.86	21.5	1.18	13.6	1.31	15.1	1.47	16.9	
SA	100	1.24	14.3	1.38	15.9	1.53	17.6	1.72	19.8	
SS	130	2.43	28.0	1.59	18.3	1.59	20.2	1.97	22.7	

注) 基礎高さは0.5mに固定

が妥当であると考えられる。

なお、土中式の基礎では、種別毎に支柱間隔が異なるため、必ずしも上位種別（A種よりSC種、SB種よりSA種）で基礎が大きくなっていない。

5.4 安全率の考え方

防護柵に関連する構造物の安全率については、標準仕様・解説や過去の研究⁸⁾では、衝突荷重が作用したときに構造物が健全（車両衝突後に構造物の破損がなく、またその移動、変形が最少であり、特に修復などは必要ない）であるかどうかの設計について、安全率を1.2みている。本報告で提案している設計方法についても、防護柵の基礎として1.2程度確保すれば基準等との整合は図れるが、今回、動荷重値を静荷重値に置き換え従来示された設計荷重を低減していることから、今回提案した衝突荷重の妥当性が精査されるまで、当面1.5の安全率を確保するものとする。基礎の大きさが制約される路肩条件の場合は、道路交通状況や事故の発生状況などを踏まえて別途安全率を設定する場合もあると考えられるが、この場合に多少の変形を許容する土中式の連続基礎として設計する場合でも、車両衝突後に補修を必要としない基礎の健全性を保つためには、1以上の安全率を確保する必要がある。

6. 防護柵端部の基礎

防護柵の端部が連続基礎上に設置されている場合には、防護柵の端部が中間部と異なり車両衝突に対して大きな抵抗が期待できないことから、防護柵端部が設置されている基礎に作用する力も中間部ほど大きくならない。従って、中間部と同様の設計を行えば、基礎の変形等の問題は生じない。ただし、端部では防護柵の円滑な誘導が期待できないことから、車両の安全性を確保する必要がある区間内に端部を設けると、十分な車両誘導が行えない可能性があり、防護柵基準等を参考に、防護柵設置対象区間の前後に余裕をもって防護柵を設置することが必要である。

7. 今後の課題

本検討により、車両の衝突現象を踏まえた防護柵連続基礎の設計方法を示すことができたが、連続基礎設計時の安全率については検討の余地が残されている。また現段階では、これまでの実験、経験をもとに設計方法を取りまとめているが、今

後は車両衝突のエネルギー収支の観点等から理論的検討を進め、設計方法の精度を高めることが必要である。

参考文献

- 1) (社)日本道路協会, 「防護柵の設置基準・同解説」, 平成10年11月
- 2) (社)日本道路協会, 「車両用防護柵標準仕様・同解説」, 平成11年3月
- 3) (社)日本道路協会, 「防護柵設置要綱」, 昭和47年10月
- 4) (社)日本道路協会, 「道路橋示方書 I 共通編」, 平成14年3月
- 5) (社)日本道路協会, 「道路土工一擁壁工指針」, 平成11年3月
- 6) 安藤, 森, 「防護柵連続基礎の設計に関する実験検討」, 第23回日本道路会議一般論文集(A), (社)日本道路協会, 平成13年10月
- 7) 建設省土木研究所, 「防護柵衝突シミュレーションに関する研究」, 土木研究所資料第574号, 昭和47年3月
- 8) 建設省土木研究所他, 「高速化対応型コンクリート製防護柵に関する共同研究報告書」, 共同研究報告書第207号, 建設省土木研究所, 平成10年6月
- 9) (社)土木学会, 「構造物の衝撃挙動と設計法」, 構造工学シリーズ6, (社)土木学会, 1994年
- 10) (社)日本道路協会, 「中央分離帯用防護柵に関する共同研究報告書」, 昭和60年6月
- 11) 国土交通省運輸局, 「車両諸元」2003版, 2003年4月
- 12) 安藤, 濱田, 「2次元衝突シミュレーションへの車両横転モデルの適用と防護柵の必要高さ」, 土木技術資料, Vol40, No5, 1998年8月

安藤和彦*



国土交通省国土技術政策
総合研究所道路研究部道
路空間高度化研究室主任
研究官
Kazuhiko ANDO

森 望**



国土交通省国土技術政策
総合研究所道路空間高度
化研究室長
Nozomu MORI