

車両の衝突を想定したボラード構造に関する検討

安藤和彦

1. まえがき

道路用のボラードは、歩道等に車両が進入するのを抑止するためなど各種の用途に使われており、既報告¹⁾において、ソフトボラード、ハードボラード、車両激突対応型ボラードに三区区分し整理した。これらのボラードを強度性能の観点でみると、ソフトボラードは人が押してもたわむ性質があり、またハードボラードは人や自転車の接触や衝突に耐える程度の強度になっているなど、いずれも車両の衝突は想定していない。一方車両激突対応型ボラードは、テロ対策用として車両の高速衝突に耐えるかなり高い強度を有している。

我が国の交通事情を考えると、例えば乗用車類が誤って歩道内に進入するのを防ぐ、中間的な強度のボラードが必要と思われるが、このようなボラードはあまり使われていないため、構造も明らかでない。

そこで、比較的低い速度で衝突した乗用車類を停止させるボラード（以下「低速衝突対応型ボラード」という。）について、ボラードの構造を概略把握するための検討を行ったので、以下に紹介する。

2. 現状のボラード構造

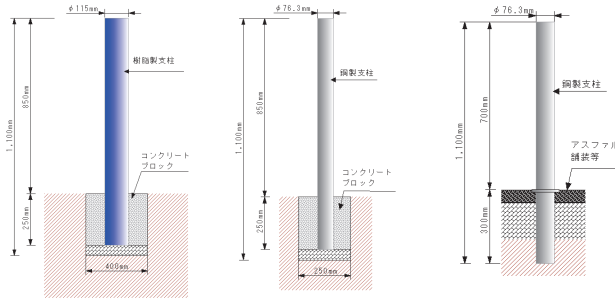
低速衝突対応型ボラードの構造を検討するに当たり、まず現在のソフトボラード、ハードボラード等の車両の衝突を想定していないボラード（以下「衝突非対応型ボラード」という。）と、車両激突対応型ボラードの構造例を以下示す。

2.1 衝突非対応型のボラード構造例

衝突非対応型ボラードの製品例を図-1 に示す。

この種のボラードは種類も多く、ボラードの路面上の部分（以下ポールと称し、基礎部と区別する。）は種々あるが、基礎は□250～400mm×250～450mm 深程度のコンクリートブロックが一般的に用いられている。これらのブロックの質

量は 0.05～0.2t 程度の範囲にあり、基本的には無筋コンクリートである。またアスファルト舗装にポールを直接埋め込む場合は、200mm～400mm 程度の埋込み深さとなっている。



ブロック基礎構造 ブロック基礎構造 アスファルト舗装
(400×400×250) (250×250×250) 埋込み

図-1 衝突非対応型ボラードの製品例 (単位:mm)

2.2 車両激突対応型ボラードの構造例

車両激突対応型ボラードは欧米で多くの実績があり、いくつかの種類をみることができる。入手できた資料²⁾から、車両激突対応型ボラードの製品例を図-2 に示す。

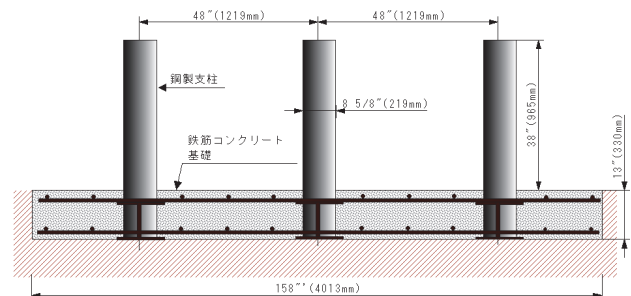


図-2 車両激突対応型ボラード(埋込み式)の製品例

この製品は、米国材料試験協会 (ASTM) が定めているボラード性能規格³⁾における M30 レベル (15,000lb (6.8 トン) トラック、衝突速度 30mp (48km/h)) の衝突条件で、車両を停止させる性能を持っていることが確認されている。

ポール径は 219mm あり、車両の衝突を 2 本のポールで受ける構造になっている。基礎は鉄筋コンクリート製で、質量は 5.5t と衝突非対応型ボラード基礎の 20 倍～100 倍程度の大きさがある。

また、コンクリート構造物にアンカー固定するボラードの例としては、図-3⁴⁾に示すものがみられる。この製品は、6.8 トンのトラックが速度

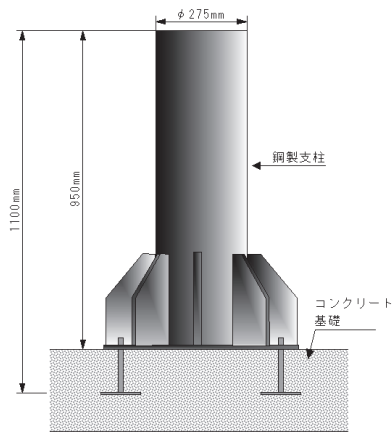


図-3 車両激突対応型ボラード（アンカー式）の製品例
24km/h で衝突してもボラードが破損しない強度を有するとされている。

これらをみると、車両激突対応型ボラードは、コンクリート構造物あるいは大型のコンクリート基礎に設置しなければ、適切な強度性能は得られないようである。

3. 低速衝突対応型ボラード構造の検討

低速衝突対応型ボラードの設計方法は確立されたものがない。以下では、既往の知見や関連資料等をもとに設計方法を設定し、ボラード構造寸法を試算する。

3.1 設計方法の設定

3.1.1 衝突エネルギーと吸収エネルギー

車両がボラードに衝突しその場に停止した場合の、衝突エネルギーとボラードや車両の変形による吸収エネルギーとの関係は、以下の式で表すことができる。

$$E = E_b + E_{aut} \quad \text{式(1)}$$

ここで、 E ：衝突エネルギーの量

E_b ：ボラード変形によるエネルギー吸収量

E_{aut} ：車両変形によるエネルギー吸収量

このとき、車両の衝突エネルギー量は以下の式で求める。

$$E = 1/2 \times m \times v^2 \quad \text{式(2)}$$

ここで、 m ：車両質量、 v ：衝突速度

また、ボラードの変形によるエネルギー吸収量は、ボラードの支持力（ P_b ）と変形量（ δ_b ）との曲線関係（図-4）を2直線近似し、以下の式により求めるものとする。

$$E_b = P_{bw} \times (\delta_{b2} - 1/2 \times \delta_{b1}) \quad \text{式(3)}$$

ここで、 P_{bw} ：ボラードの平均支持力

δ_{b2} ：抵抗力が期待する最大変形量

δ_{b1} ：平均支持力 P_{bw} に達する変形量

車両の変形による吸収エネルギー E_{aut} は車体剛性（図-5）をもとに求める。このとき、車両がどの程度変形するかは、車両とボラードの相対的な剛性関係により変わる。ここでは、ボラードに生じる最大支持力 P_{bmax} と同じ大きさの荷重が車両に作用するものとして車両変形量 δ_{aut1} を求め、得られた車両変形量から吸収エネルギー E_{aut} を求めるものとする。

$$\delta_{aut1} = P_{bmax} \div k_{aut} \quad \text{式(4)}$$

$$E_{aut} = 1/2 \times P_{bmax} \times \delta_{aut1} \quad \text{式(5)}$$

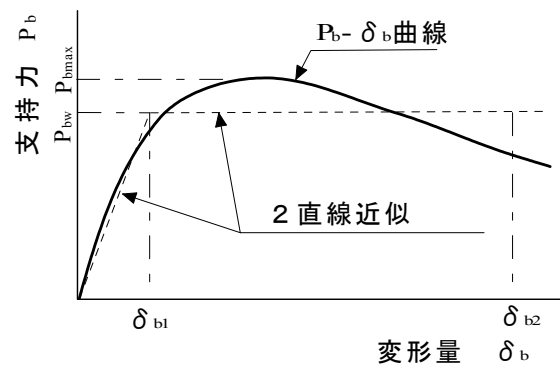


図-4 ボラードの変形曲線

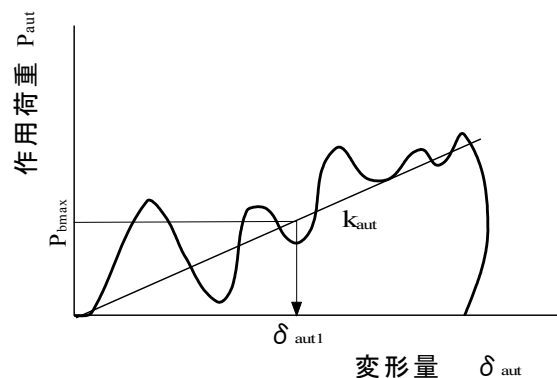


図-5 車両の変形と車体剛性⁵⁾

3.1.2 ボラード構造の設計方法の設定

(1) ポールの最大支持力

ボラードの塑性変形は、主としてポールの塑性変形に依存するものとする。このときポールの最大支持力 P_{bmax} は以下の式により算定する。

$$P_{bmax} = \sigma_s \times d \times z \div H \quad \text{式(6)}$$

ここで、 σ_s ：部材の許容応力度

d ：動的割増係数

z ：断面係数

H ： P_{bmax} の作用高さ

土研センター

(2)基礎質量

ボラードと同様の構造として、ポールとブロック基礎を組み合わせた車両用防護柵の支柱構造については、所定の支持力を得るための基礎設計方法が確立されている⁶⁾ので、これを準用するものとする。

この方法では、ポールが所定の支持力を得るために、必要となる背面土質量を確保することが求められる。必要背面土質量の算出の考え方は図-6に示すとおりである。

コンクリートブロック基礎質量を M_c 、影響範囲の背面土質量を M_e とすれば、

必要背面土質量 $=M_c+M_e$ 式(7)
として求めることができる。

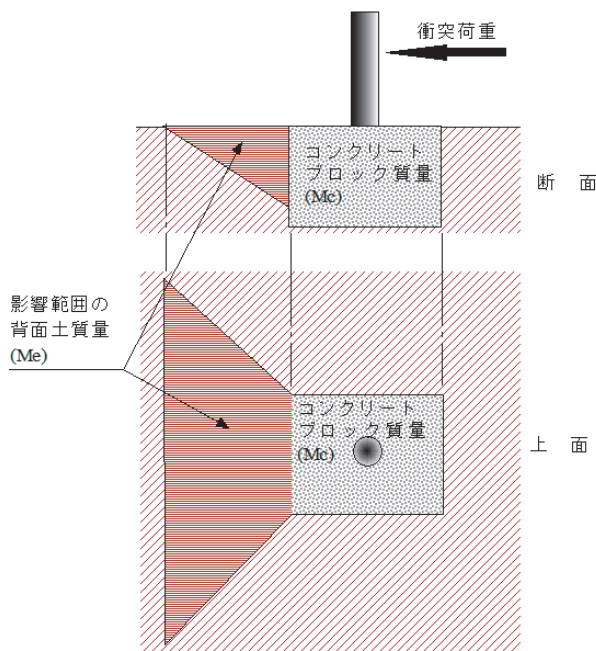


図-6 背面土質量の範囲

3.2 ボラード構造の試算

3.2.1 衝突条件

1トン乗用車が時速40kmでボラードに衝突した場合($E=61.7\text{kJ}$)に、乗用車をその場に停止させる構造とする。衝突荷重の作用位置は、乗用車バンパー中心高さとして $H=0.4\text{m}$ を想定する。

3.2.2 ポール

ポールは、 $\phi 165.2\text{mm} \times 6\text{mm}$ (断面係数 $Z=115.2\text{cm}^3$) の STK400 材鋼管を用いる。

STK400 の標準的な許容応力度を 23.5kN/cm^2 とし⁷⁾、動的割増係数を 1.7 とすれば⁸⁾、

$$P_{\max} = 23.5 \times 1.7 \times 115.2 \div 40 = 115.1\text{kN}$$

となる。また、平均支持力 $P_{bw} = 0.9 \times P_{b\max}$ 、 P_{bw} に達する変形量 $\delta_{b1} = 0.05\text{m}$ 、支持力の期待できる最大の変形量 $\delta_{b2} = 0.6\text{m}$ とする⁹⁾。

3.2.3 基礎

コンクリートブロック基礎は、幅と奥行き of 長さが等しい正方形の上面構造として計算する。

車両用防護柵の代表的支柱 ($\phi 114.3\text{mm} \times 4.5\text{mm}$ 、 $\phi 139.8\text{mm} \times 4.5\text{mm}$ 、 $\square 125\text{mm} \times 6\text{mm}$) の必要背面土質量が防護柵標準仕様⁶⁾に示されている。それらの値と、各支柱の断面から式(6)により求めた最大支持力 $P_{b\max}$ との関係を示したものが図-7である。

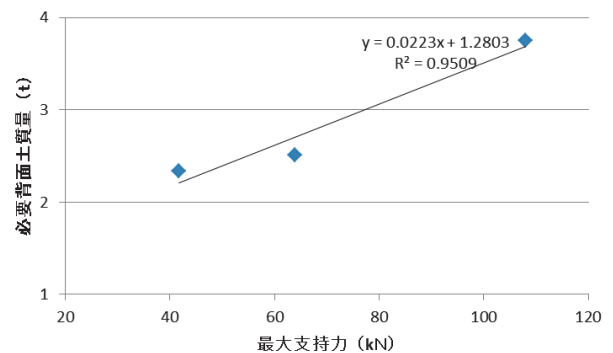


図-7 最大支持力と必要背面土質量との関係

図-7 より得られた相関式から、 $\phi 165.2\text{mm} \times 6\text{mm}$ ($P_{b\max} = 115.1\text{kN}$) の必要背面土質量を算出すると 3.85t となり、この質量を得るためには、土の単位質量を 1.8t/m^3 、コンクリートの単位質量を 2.3t/m^3 とすると、 $\square 1.1\text{m} \times 1\text{m}$ 深 (体積 1.21m^3) のコンクリート基礎で満足する。

3.2.4 エネルギー吸収量

ポール材のエネルギー吸収量は、

$$E_b = 115.1 \times 0.9 \times (0.6 - 1/2 \times 0.05) = 59.1\text{kJ}$$

車両のエネルギー吸収量は、 $k_{\text{aut}} = 588\text{t/m}$ とする⁵⁾と、

$$E_{\text{aut}} = 1/2 \times 115.1^2 \div 588 = 11.3\text{kJ}$$

全体のエネルギー吸収量は $59.1 + 11.8 = 70.9\text{kJ}$ であり、車両の衝突エネルギー 61.7kJ より大きくなることから、想定したボラード構造は1トン車の 40km/h での衝突に対応できる試算結果となった。検討結果のボラード構造を図-8に示す。

なお、ポールの高さ 650mm は、ポール頂部が変形後も車両の最低地上高より高い位置に止まることを想定して、設定したものである。

低速衝突対応型ボラードの基礎は 1m^3 程度の大

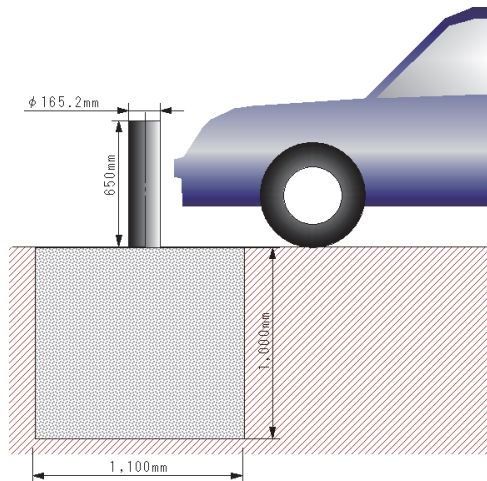


図-8 低速衝突対応型ボラードの試算構造

きさとなり、現在一般的に使われているボラードの5～20倍程度の大きさの基礎が必要となる。この規模になると、比較的歩道幅員が確保できる道路等に利用は制限され、また地下埋設物が設置された道路での利用は困難となるものと思われる。

3.3 衝突エネルギーと基礎質量との相関関係

衝突エネルギーに応じてどの程度の基礎質量を確保すべきか、両者の関係を概略把握するために、上述の代表構造と、米国の事例¹⁰⁾（6.8トン車の50km/h衝突、衝突エネルギー1,679kJ）を加え整理したものが図-9である。ここで、衝突非対応ボラードは自転車（70kg）が時速10kmで衝突する場合とした。

便宜的な目安ではあるが、基礎質量(t)＝衝突エネルギー(kJ)×0.01程度の関係が得られた。

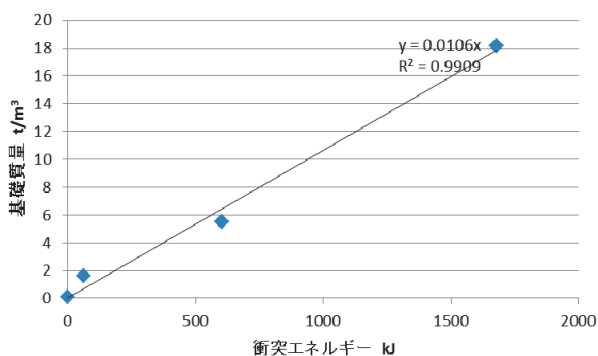


図-9 衝突エネルギーと基礎質量との関係

4. 今後の課題

低速衝突対応型ボラードの構造について設計方法を設定し、構造を概略検討した。今後は、今回設定した設計方法と検討結果で得られた構造の妥当性を検証することが必要となる。

なお、今回の検討では考慮していないが、ボラードの構造はボラード基礎を設置する地盤の状況によって大きく変化する。舗装中に埋め込んだ場合は、基礎周辺の舗装による抵抗力も大きくなるので、土中に埋め込む場合より基礎が小さくできる可能性がある。あるいは、同じ土中でも土質条件や地盤強度によって地盤の抵抗力は異なってくる。周辺地盤条件を組み込んだ、経済的なボラード基礎の設計方法を確立することが望まれる。

適切な強度を有する経済的な衝突対応型ボラードが普及し、生活道路等での重大交通事故が軽減されることを期待したい。

参考文献

- 1) 安藤和彦：道路用ボラード（杭）の種類と車両衝突対応型ボラードの性能評価、土木技術資料、第58巻、第4号、pp.54～57、2016
- 2) http://www.apexfab.com/wp-content/uploads/2014/06/Apex_SellSheet_Bollard-web.pdf
- 3) American Society of Test & Materials; Standard Test Method for Vehicle Crash Testing of Perimeter Barriers, ASTM F2656-07, 2007
- 4) http://www.pilomat.com/file/2015/04/fixed_antiterror_bollard_275K4FB700F_datasheet.14_pilomat_ENG.pdf
- 5) 水野幸治：自動車の衝突安全、(財)名古屋大学出版会、2012年2月
- 6) (財)日本道路協会：車両用防護柵標準仕様・同解説、平成16年3月
- 7) 建設省：鋼材等及び溶接部の許容応力度並びに材料強度の基準強度を定める件、建設省告示第2464号、平成12年
- 8) (財)日本道路協会：道路橋示方書・同解説、Ⅱ鋼橋編、平成2年2月
- 9) 建設省土木研究所交通安全研究室等：急カーブ用防護柵の構造形式及び支柱補強に関する共同研究報告書、共同研究報告書整理番号第41号、平成2年3月
- 10) <http://www.deltascientific.com/files/dsc720/DSC700MSeriesManualBollard-3%20BollardArrayFoundationSpec.pdf>

安藤和彦



(一財)土木研究センター技術研究所
道路研究部長
Kazuhiko ANDO