

車両用防護柵の変形性能と設置地盤強度との関係

染谷 修* 安藤和彦**

1. はじめに

車両用防護柵（以下、防護柵という。）は、実車衝突試験によって性能を確認することが防護柵の基準によって定められている。このとき防護柵が適正な性能を発揮するためには、防護柵を設置する地盤条件の影響が無視できない。しかしこれまで、地盤強度が防護柵の性能に及ぼす影響については、ほとんど検討されてこなかった。この背景としては、防護柵が設置される地盤が2m程度までの浅い地盤であることや、車両が衝突した時には変形することも許容されていることから強度設定が比較的困難であったこと等が挙げられる。

しかし、今後も衝突試験により防護柵の性能確認を行っていく場合、設置地盤の適切な強度設定、管理は不可欠であると考えられる。そこでここでは、過去の実車衝突試験結果を基に、防護柵性能のうち変形性能に着目し、試験地盤の強度との関係について検討を行ったので、その結果を報告する。

2. 防護柵の変形性能

防護柵の変形性能とは、車両衝突時の防護柵の変形が所定の変形量以下になるよう定めた規定である。防護柵のうち変形することが前提となるたわみ性防護柵は、車両衝突時の衝撃を防護柵の変形により吸収・緩和する優れた緩衝性を有している。そのため大型車両等の衝突時に過剰な変形が発生した場合、車両が道路からはみ出し、路外の歩行者・構造物等に衝突する危険性がある。そこでこのような事態を避けるため、許容できる車両の最大進入行程（図-1）によって規定している。

車両の最大進入行程は、車両が防護柵に衝突した時の車輪内側が防護柵前面から路外方向に移動したときの最大距離であり、基準により防護柵の設置場所、支柱の埋め込み区分毎に許容値が定められている。

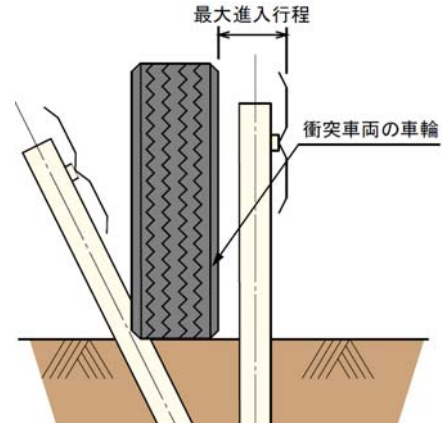


図-1 車両の最大進入行程

3. 地盤強度の測定方法

衝突試験における地盤強度は、図-2に示す貫入試験機（簡易動的コーン貫入試験機）を用い、地盤工学会基準の簡易動的コーン貫入試験方法に準拠し測定を実施している。

簡易動的コーン貫入試験方法とは、5kgのハンマー（重り）を50cmの高さから自由落下させ、先端コーンが10cm貫入するのに要する打撃回数をNd値として記録するものである。

Nd値と標準貫入試験（N値）との関係は、地盤工学会の地盤調査法によると、Nd値 = 1~2N値（Nd値 < 20の場合）の範囲にあり、平均でNd値 = 1.5N値としている。

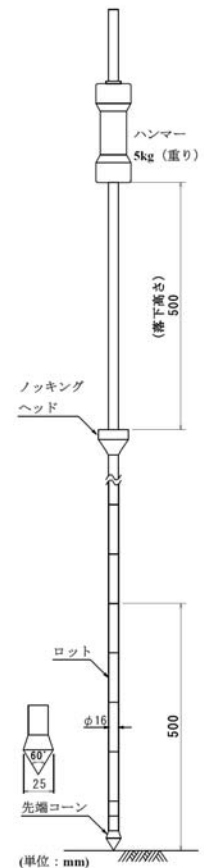


図-2 貫入試験機

4. 既往衝突試験データ

既往衝突試験データの中から同一種類の防護柵試験条件として、5試験体を選び出した。各試験体の衝突試験条件を表-1に、防護柵の変形性能に

The relationship between post deformation of traffic barriers and foundation strength.

関する試験結果を表-2に示す。ここで変形性能としては、最大進入行程の他、支柱の折れ点深さ、折れ角についても示している（図-3）。またこのときの各試験体の設置地盤強度（Nd値）の測定結果を図-4に示す。

表-1 試験条件

| 試験体 | 車両(重量) | 衝突速度 | 衝突角度 | 地盤土質 |
|-----|----------|--------|------|-------|
| A | 貨物車(20t) | 53km/h | 15度 | 関東ローム |
| B | 貨物車(20t) | 53km/h | 15度 | 関東ローム |
| C | 貨物車(20t) | 52km/h | 15度 | 関東ローム |
| D | 貨物車(20t) | 52km/h | 15度 | 関東ローム |
| E | 貨物車(20t) | 52km/h | 15度 | 関東ローム |

表-2 変形性能に関する試験結果

| 試験体 | 最大進入行程 | 折れ角 | 折れ点深さ |
|-----|--------|-----|-------|
| A | 35cm | 34度 | 33cm |
| B | 20cm | 27度 | 37cm |
| C | 84cm | 70度 | 7cm |
| D | 47cm | 38度 | 34cm |
| E | 45cm | 41度 | 35cm |

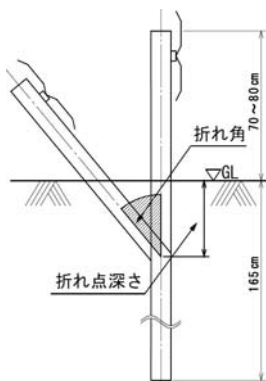


図-3 折れ角と折れ点深さ

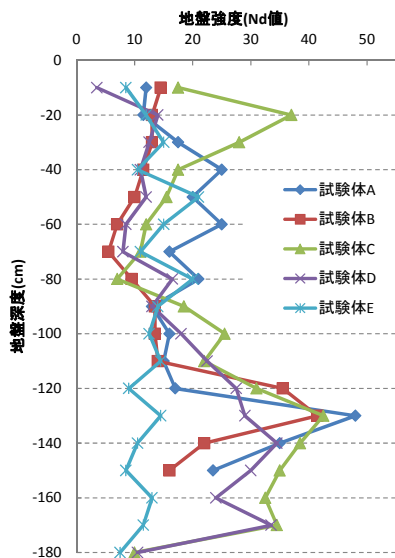


図-4 簡易動的コーン貫入試験結果

5. 地盤強度と支柱変形特性

車両の最大進入行程と試験体支柱の折れ角（図-3参照）との関係を図-5に示す。両者には高い相関性があり、支柱の折れ角が大きいほど車両の最大進入行程も大きくなっている。

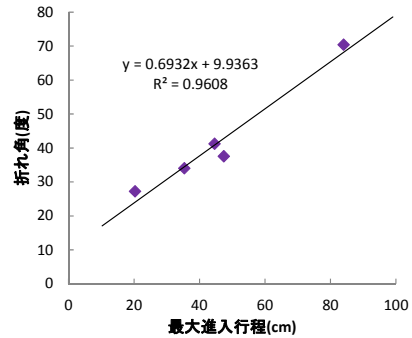


図-5 最大進入行程と折れ角の関係

つぎに支柱の折れ角と折れ点深さ（図-3参照）の関係を図-6に示す。支柱の折れ点深さが浅いほど折れ角は大きくなっていることが分かる。

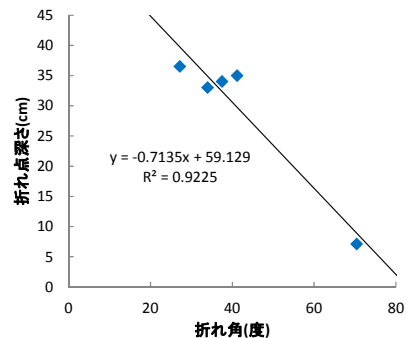


図-6 支柱の折れ角と支柱の折れ点深さの関係

以上から車両の最大進入行程と支柱の折れ点深さには密接な関係にあり、折れ点深さの変化が車両の最大進入行程を変化させていることが分かる。この折れ点深さを変化させている要因を考えると、防護柵の形状、材料強度等の構造要件の他、設置地盤強度（Nd値）も大きくな要因の1つであるものと考えられる。そこで、設置地盤強度（Nd値）について以下に検討する。

図-4のNd値分布をみると、深度1.2m以下で硬い層がある試験体とない試験体があるが、表-2では硬い層の有無が折れ点深さに与える影響はほとんどみられない。そのため以下では、支柱の変形に影響を当てる深さの範囲として1.1mまでを対象とするものとする。各試験体の設置地盤強度（Nd値）を図-7に示す。

土研センター

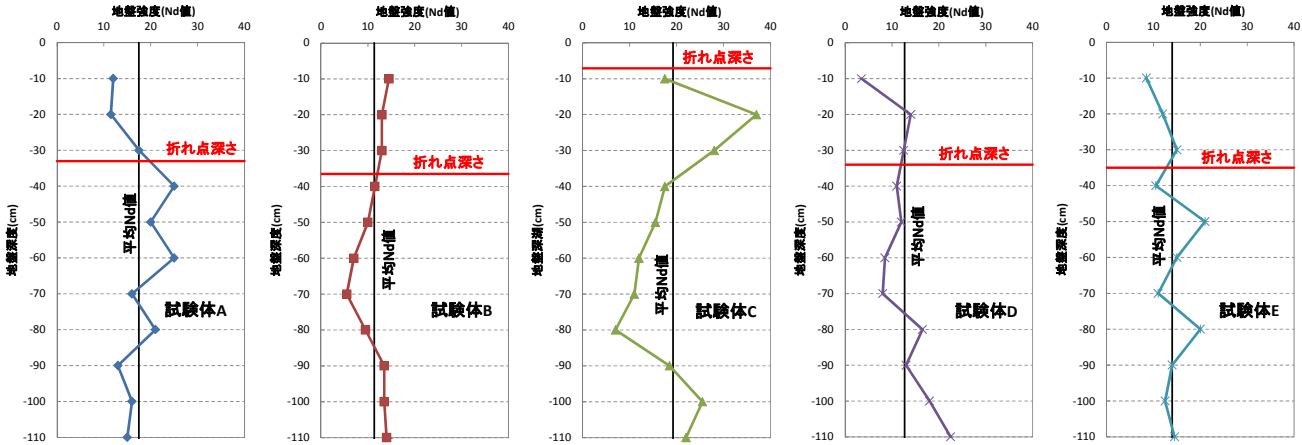


図-7 各試験体の設置地盤強度(Nd値)

次に、支柱の折れ曲がりに対する地盤の影響について、単にNd値としてのみ関与するのではなく、①路上のガードレールビームに衝突荷重が作用し地盤内で支柱が折れ曲がるという全体的な荷重状態に着目した場合に、地盤深度が深くなるほど地盤強度は発揮しにくいと考えられること、②地盤内の折れ点に着目した場合に、折れ点上部と下部では反力の方向が異なり、また折れ点で地盤強度が最も大きく発揮されると考えられること、の2点を考慮した補正を行うものとした。

まず上記①について、下記の補正を行うものとした。

$$INd = Nd \cdot (1 - D/L) \dots \dots \dots \text{式(1)}$$

- ここで、INd: 地盤深度の影響を加味したNd値
- Nd: 地盤強度
- D: 地盤深度(m)
- L: 支柱埋め込み深さ(m)

さらに上記②については、折れ点深さを1とし、末端を0とした2つの三角形TA・TB(図-8)を想定した。ここでTA_iの符号iは、折れ点を0として上側に向かってNd値を測定した位置(10cm間隔)に付けられた番号であり、同様に符号jは、折れ点を0として、下側に向かってNd値を測定した位置(10cm間隔)に付けられた番号である。この2つの三角形TA・TBの影響をINdに加味するため式(2)~(3)を作成し、求めた値をCND₁、CND₂とした。

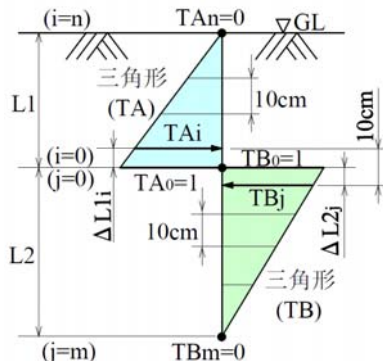


図-8 地盤支持力の三角形

$$CND_1 = \frac{1}{2} \sum_{i=0}^{n-1} \{ (TA_i \cdot INd_i + TA_{i+1} \cdot INd_{i+1}) \times (\Delta L1_i - \Delta L1_{i+1}) \} \dots \dots \dots \text{式(2)}$$

$$CND_2 = \frac{1}{2} \sum_{j=0}^{m-1} \{ (TB_j \cdot INd_j + TB_{j+1} \cdot INd_{j+1}) \times (\Delta L2_j - \Delta L2_{j+1}) \} \dots \dots \dots \text{式(3)}$$

ここで、CND₁: L₁におけるTA_iの影響を加味したINd_iの合計
 CND₂: L₂におけるTB_jの影響を加味したINd_jの合計
 TA_i: 折れ点より上側に向かうNdの補正值
 TB_j: 折れ点より下側に向かうNdの補正值
 ΔL1_i: 折れ点より上側に向かうNdの測定位置
 ΔL2_j: 折れ点より下側に向かうNdの測定位置

以上より求めたCND₁、CND₂の分布を図-9に示す。

このCND₁、CND₂は、支柱の変形に作用する地盤反力(モーメント)に比例するものであると考えられる。そこでモーメントの考え方をを用いて、支柱の折れ点(変形)に影響を与える地盤反力の程度を表す指数として「地盤強度影響指数」を想定した。CND₁、CND₂の分布を作用面積とし、折れ点深さをモーメントの回転中心とした式(式(4))を作成し、地盤強度影響指数を求めた。

$$\text{地盤強度影響指数} = CND_1 \cdot h_1 + CND_2 \cdot h_2 \dots \dots \text{式(4)}$$

- ここで、h₁: 折れ点深さ(回転中心)からCND₁(作用面積)の重心までの距離
- h₂: 折れ点深さ(回転中心)からCND₂(作用面積)の重心までの距離

地盤強度影響指数と支柱の折れ点深さとの関係を示した結果が図-10である。図-10から地盤強度影響指数と折れ点深さの関係を見ると、地盤強度影響指数が大きくなる(地盤が強くなる)ほど折れ点深さが浅くなり、例えばコンクリート基礎に近いような高い強度の地盤では折れ点深さは限りなく0に近づくことになる。一方数値が小さくな

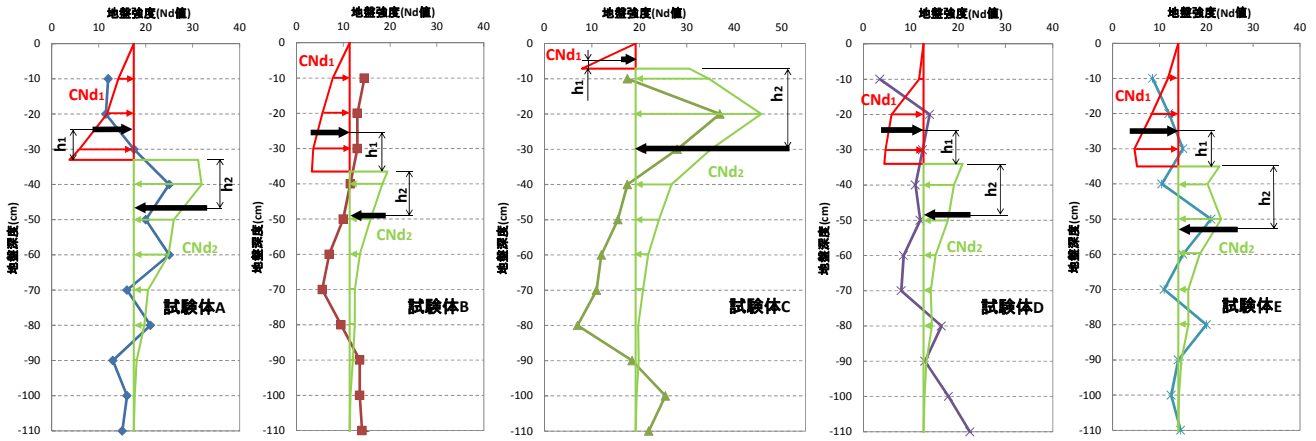


図-9 各試験体の設置地盤のCNd1、CNd2の分布

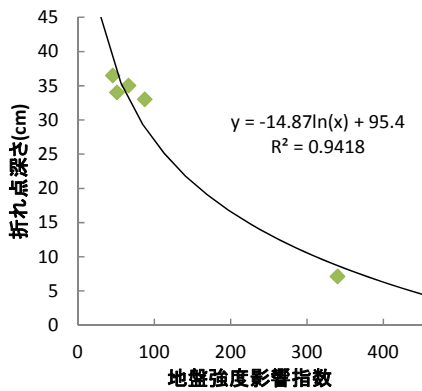


図-10 地盤強度影響指数と折れ点深さとの関係

る（地盤が弱くなる）と折れ点深さは深くなり、非常に弱い地盤では、折れ点深さがかなり深くなるか、場合によっては支柱の折れが発生しなくなることが分かる。これは、地盤強度影響指数は地盤強度（Nd値）と比例関係にあることから、地盤強度（Nd値）が支柱の折れ点深さを変化させる重要な要因になっているということもできる。

6. まとめ

防護柵設置地盤の強度を表す指標として、Nd値を用いた地盤強度影響指数を考え、これをもとに過去の試験結果における支柱の折れ点深さ（地盤が弱いほど、折れ点深さは深くなる）との関係について検討を行った。その結果、地盤強度影響指数と支柱の折れ点深さについて考え方を整理することができ、回帰式を得ることができた。この式は、今後防護柵の性能確認を行う場合の地盤強度設定、管理に適用できる可能性が高く、今後試験を実施する場合に、当面この式に基づく地盤強度設定を行うことが考えられる。また将来的には、防護柵構造毎に最も適した地盤強度を提示することも可能になると考えられる。

7. おわりに

これまで防護柵支柱が地盤から得られる強度は、支柱の埋め込み深さと土質量影響範囲を設定して便宜的に計算を行ってきたが、防護柵性能試験等で設置地盤を設計する、という観点では満足するものとはなっていない。その点本報告で示した考え方は、設置地盤を設計するための第一歩になるものである。ただし、現段階でデータ数は十分でなくその妥当性は明らかになっていない。さらにデータを蓄積して精度を検証していきたい。また、今回の検討では支柱深さは1.1mまでを対象としているが、支柱自体は深いもので1.8mまで埋め込まれている。1.1m～1.8mの支柱埋め込み部分が防護柵の性能にどのような影響を与えるかは、今後さらに検討が必要である。

参考文献

- 1) 防護柵の設置基準・同解説、社団法人日本道路協会、平成20年1月
- 2) 車両用防護柵標準仕様・同解説、社団法人日本道路協会、平成16年3月
- 3) 地盤工学会基準(JGS1433-2003)、社団法人地盤工学会
- 4) 地盤調査法、社団法人地盤工学会

染谷 修*



一般財団法人土木研究センター技術研究所道路研究部 主任研究員
Osamu SOMEYA

安藤和彦**



一般財団法人土木研究センター技術研究所道路研究部長
Kazuhiko ANDO