

(15) 埋め込みの浅いアンカー式車両用防護柵支柱への落錘試験

Dynamic impact loading against a bridge railing post installed at the short height curb

安藤和彦*・高堂治**・三上聡***

Kazuhiko Ando, Takado Osamu, Mikami Satoshi

* 財団法人 土木研究センター 道路研究部 (〒300-2624 茨城県つくば市西沢 2-2)

** 社団法人 日本アルミニウム協会 土木製品開発委員会 防護柵 WG

(〒104-0061 東京都中央区銀座 4 丁目 2 番 15 号)

*** 全国高欄協会 技術部会 (〒136-0071 東京都江東区亀戸 2 丁目 35 番 13 号)

Key Words : Bridge railing, Post, Pendulum Impact Loading Test

キーワード : 車両用防護柵、支柱、道路橋、落錘試験

1. はじめに

「防護柵の設置基準・同解説」¹⁾ (以下、防護柵基準)には、「橋梁用ビーム型防護柵 設計方法」としてアンカーボルトを橋梁地覆に埋め込んで車両用防護柵支柱を定着させる方法が示されている。

この定着方法では、静荷重試験により求められた支柱の最大荷重 (最大支持力) が作用した場合に、これに十分耐え得る強度を有する地覆が提供されることが前提となっている。

しかし、近年多用されてきているバリアフリー対応の歩道において、地覆の高さが低くいためにアンカーボルトの埋め込み長が十分確保できず、防護柵基準に示されたアンカーボルトのみによる定着方法では必要強度が得られない状況も生じている。そこで、支柱建込み式の設計方法を参考に、強度不足を補強鉄筋で補う対処方法が採られてきたが、この対処方法の妥当性について、これまで十分検証されてこなかった。そこで、アンカーボルトに補強鉄筋を併用して防護柵支柱を定着させる方法の妥当性を、

振り子式の落錘試験により検証を行うこととした。

2. 橋梁部地覆での支柱定着

地覆のアンカー定着構造は、図-1 に示すとおりである。

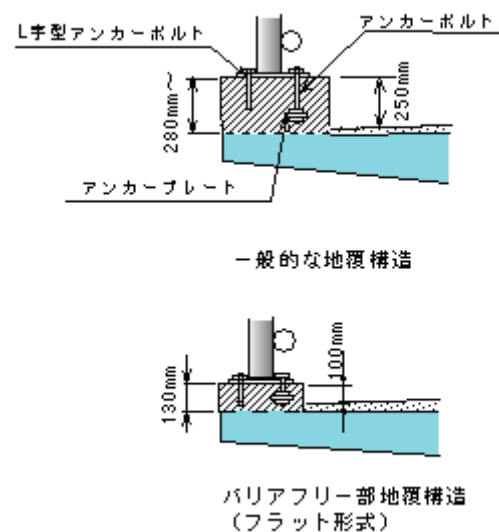


図-1 支柱定着時のアンカー埋め込み長

一般的な地覆定着構造では、アンカーボルトは200～250mm程度の深さまで埋め込むことができる。これに対して、フラット形式のバリアフリー歩道の地覆に設置する場合、地覆高さが130mm程度となり、アンカーの埋め込み深さは100mm程度までしか確保できない（以下、薄型地覆という）。

3. 薄型地覆での補強構造に関する検討

3.1 支柱定着構造の検討

図-1の浅い埋め込みに対応するため、アンカーボルトおよびアンカープレートを用いる一般的な構造（図-2 上図）に、補強鉄筋を併用する定着構造（以下、補強構造）を検討した（図-2 下図）。

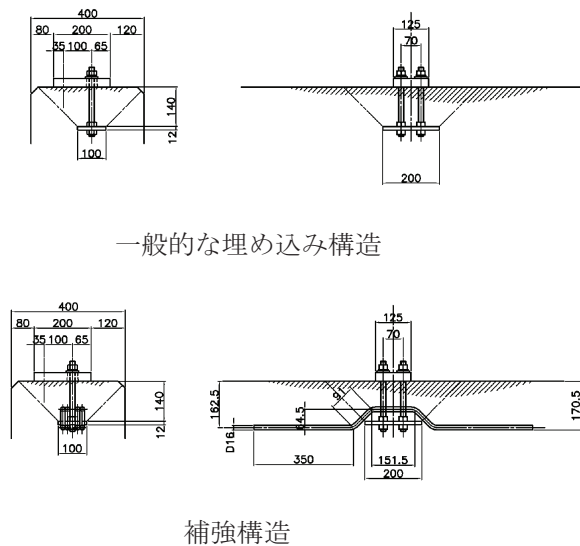


図-2 定着構造（埋め込み深さ140mmの例）

3.2 静荷重試験による地覆最大荷重の把握

図-2に示した構造について、静荷重試験により地覆の最大荷重を把握するものとした。このとき静荷重試験は、防護柵基準に則り、支柱高さ800mmの

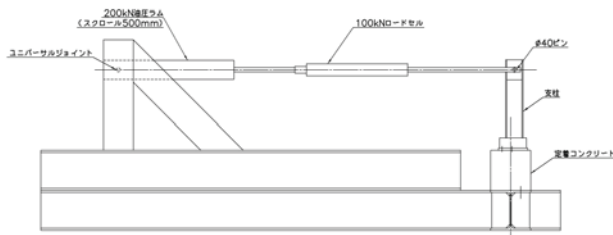


図-3 荷重方法

位置に油圧ラムにて水平荷重を荷重した。荷重方法を図-3に示す。

このとき、地覆の最大荷重を把握するため、地覆最大荷重に相当する荷重を行っても曲げが生じない強度を有するH型鋼（H175×175×7.5;SS400）を防護柵支柱に変わる部材として用いた。また、供試体地覆内には、実物の橋梁地覆と同様にスターラップを配筋した。

3.3 試験結果

アンカープレートの設定埋め込み深さ140mmについて補強鉄筋を用いない基本構造1種類および補強鉄筋の径を変えた補強構造3種類を、またアンカープレートの設定埋め込み深さ90mmについて補強鉄筋の径を変えた補強構造2種類、計6体について静荷重試験を行った。

結果を表-1に示す。

表-1 静荷重試験結果

設定埋込深さ	補強鉄筋 鉄筋径 (本数)	水平荷重 kN			
		クラック発生時*	最大荷重 (変位)	150mm 変位時	計算値 *** (増加分)
140 mm	なし	25.0	35.3 (43mm)	7.4	35.6
	D19(2)	24.5	44.7 (57mm)	36.0	(9.1)
	D16(2)	29.0	45.6 (47mm)	**	(10.0)
	D13(2)	27.0	44.4 (49mm)	32.0	(8.8)
90 mm	なし	/	/	/	19.5
	D19(2)	20.0	33.5 (46mm)	17.5	(14.0)
	D16(2)	25.0	31.5 (35mm)	15.4	(12.0)

*クラック発生は目視確認

**前部アンカーボルトが途中破断

***補強筋がない標準構造での計算値（防護柵基準）

試験結果として、補強構造は補強しないものより10kN前後最大荷重が増加することや、大きく変形してもある程度の耐力が維持できることがわかった。設定埋め込み深さ90mmでは、補強鉄筋を入れることで設定埋め込み深さ140mmの補強鉄筋なしの構造に相当する強度が得られ、埋め込み深さが浅い方が鉄筋補強による効果が大きいことがわかった。

一方、鉄筋径を太くすることによる効果はみられ

なかった。

防護柵基準に基づいて計算した補強鉄筋なし構造の強度計算値と、表-1の供試体（補強鉄筋なし）の実測値はほぼ等しく、防護柵基準に基づいた計算方法の妥当性が確認された。試験結果としては、140mm、90mmの鉄筋の埋め込み深さに係わらず、補強鉄筋を入れることで10kN前後の耐力増加が期待できるものと考えられる。

4. 落錘試験による強度検討

3. で検討した補強構造について、実際の防護柵支柱を用い、荷重、支柱および地覆の変形状況との関係を把握するため、振り子式の落錘試験により検討を行った。

4.1 供試体支柱に関する検討

(1) 最大荷重の計測

図-4の鋼製防護柵の支柱を試験供試体とした。

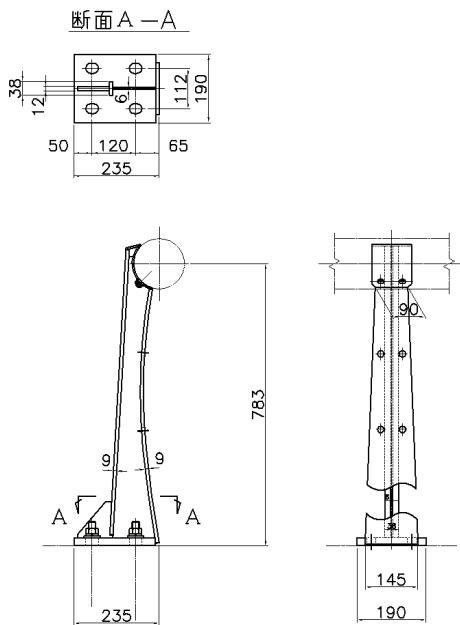


図-4 供試体支柱

この供試体について、図-3の方法で載荷し、落錘試験前に支柱の最大荷重を把握するものとした。このとき、基礎は支柱の最大荷重が作用しても問題のない鋼製耐力基礎を用いた。

また、落錘試験での荷重計測をフランジ部にひずみゲージを貼り付けて計測することを考え、ロードセルとひずみゲージの整合性を確認するための検討も併せて行った。フランジのひずみゲージ貼り付け状況を図-5に示す。

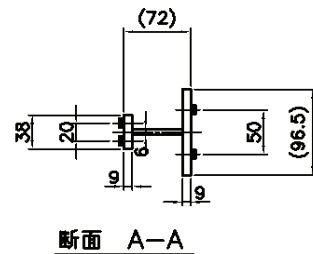
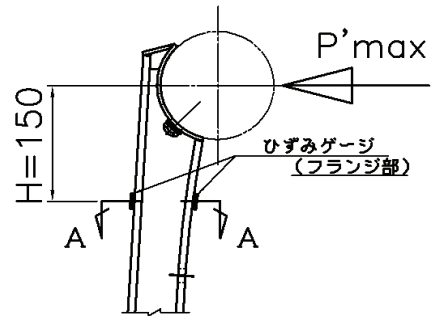


図-5 ひずみゲージの貼り付け位置

(2) 供試体支柱の最大荷重

支柱の荷重—変形関係を図-6に示す。荷重はロードセルにより計測した値である。

支柱の最大荷重は33kN程度であり、地覆はこの荷重をもとに強度設計を行うものとした。

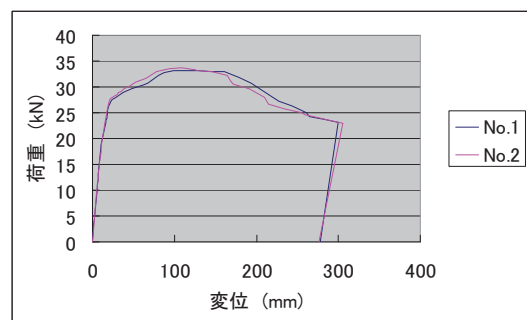


図-6 供試体支柱の荷重—変位関係

(3) ロードセルとフランジひずみによる荷重比較

図-5に示したひずみゲージから、以下の計算によ

り水平荷重の算定を行った。

$$P = Mo/H$$

$$Mo = (E \cdot \epsilon_t \cdot Z_t + E \cdot \epsilon_c \cdot Z_c) / 2$$

ここで P; 水平荷重(kN)

Mo; 曲げモーメント (kN・mm)

H; 載荷高さ(mm)

ϵ_t ; 引張側ひずみ

ϵ_c ; 圧縮側ひずみ

Zt; 引張側断面係数(mm³)

Zc; 圧縮側断面係数(mm³)

上記計算値で、Hを図-5に示すように150mmとしてロードセルによる水平荷重と比較すると、若干ひずみゲージによる荷重が下回ったので、最もよく合致した値としてH=142mmを落錘試験における荷重算出に用いるものとした。

4.2 地覆構造

地覆は、薄型地覆としてアンカーの設定埋め込み深さを100mmとして、3.の試験結果を基に施工性などを踏まえて図-7に示す構造とした。

使用した材料は、表-2に示すとおりである。

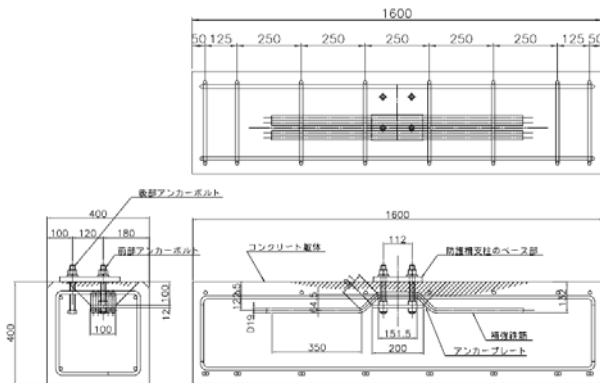


図-7 地覆供試体の構造

表-2 主要材料

No	品種	材質	寸度
1	前部アンカーボルト	強度区分 10.9 (SCM435)	2-M20
2	後部アンカーボルト	強度区分 4.6 以上	2-M20
3	補強鉄筋	SD345	2×2-D19
4	アンカープレート	SS400	t 12
5	コンクリート躯体	設計基準強度 28.9N/mm ² (注)	400×400×1600

(注) コンクリートの設計基準強度はコンクリートコアの圧縮強度試験による。

アンカープレートのみによる最大荷重の計算値は25.5kNであり、補強鉄筋による荷重増加は、表-1から10kN程度得られるものと想定すると約35kN程度の地覆強度となる。これは、図-4供試体支柱の最大荷重33kNと同程度か若干高い強度である。

4.3 落錘試験

車両衝突による衝撃荷重の載荷を想定し、支柱に衝撃荷重を加えて、発生荷重、変形量を計測するものとした。

(1) 試験方法

質量470kg(実測値)の鋼球を高さ(h=2,300mm)から振り子式で防護柵支柱に衝突させるものとした(図-8)。なお、落下高さh(=2,300mm)は、防護柵支柱を300mm以上変形させる衝撃力を有する高さとして、吸収エネルギーと変形量との関係をもとに、事前の予備試験で把握したものである。

支柱の錘載荷箇所には、厚さ9mmのゴム板を取り付け、鋼球—鋼製支柱衝突によるノイズを減少させるものとした。

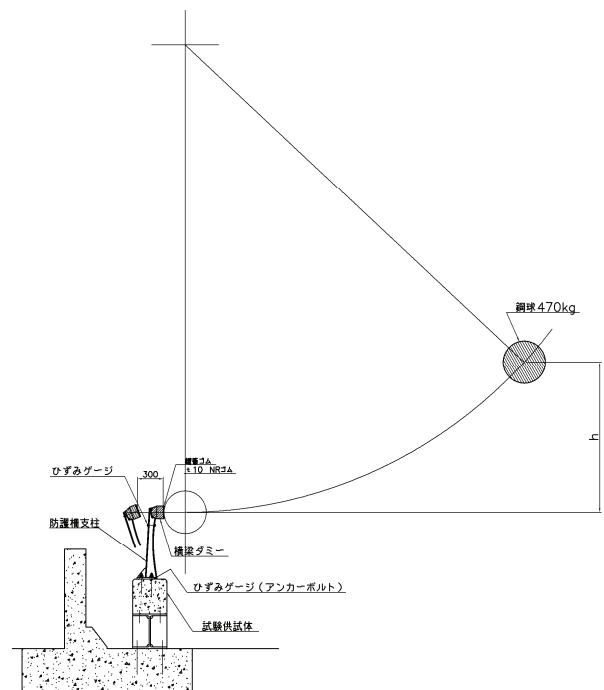


図-8 衝撃試験方

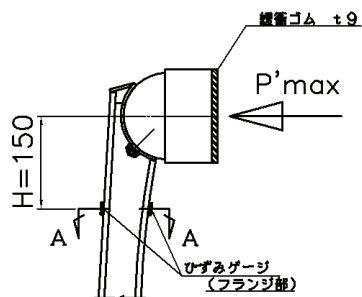


図-9 落錘の載荷位置とひずみゲージ位置

(2) 試験結果

1) 発生荷重

落錘試験は3供試体について行った。試験結果を表-3に示す。

表-3 衝撃試験結果

供試体	最大荷重 (kN)	ボルト軸力 (kN/2本)	コンクリートの変形状況
No.1	36.5	232	変形なし
No.2	38.4	224	微細クラック 最大幅 0.15mm
No.3	33.4	265	微細クラック 最大幅 0.08mm

載荷状況および支柱変形状況を写真-1に示す。



写真-1 供試体状況

最大荷重は、33kN～38kN程度発生している。静荷重試験による支柱最大荷重（33kN）に対して1.0～1.15倍程度の大きさになっている。落錘試験では、鋼球を錘として用いたが、衝突位置のミリメートル単位での制御が難しいこと、供試体自体の強度にも多少のバラツキがあること等を考慮すれば、妥当な試験結果が得られたものと考えられる。また、供試体の変形状況として、衝突エネルギーの吸収は、ほぼ支柱の変形によるものと考えられるが、基礎地覆にも微細なクラックが生じた(写真-2)。これは、地覆の最大荷重が支柱の最大荷重とほぼ同じであったため、支柱の変形と同時に地覆にも3.の静荷重試験で示した最大荷重時と同様の状態に達したためと考えられる。

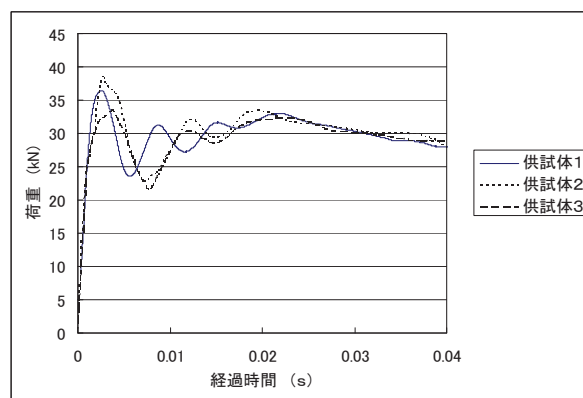


図-10 発生荷重



写真-2 クラックの発生状況

2) 繰り返し載荷

衝撃荷重載荷により、基礎地覆にクラックが発生した。実際の橋梁に設置した場合、全く同一箇所に車両が繰り返し衝突する確率は低いものと考えられるが、何回程度の衝撃に耐え得るかを確認するため、同一供試体を用い繰り返し載荷を行った。

試験に用いた供試体は前述の供試体 No.1 である。また支柱は、繰り返し载荷時に取り替えを必要しないものとして、H 型鋼を用いた。繰り返し载荷による強度の確認は、ボルト軸力および地覆の変形状況により行うものとした。鋼球の落下高さは、繰り返し 1 回目を 200mm とし、順次増加させた。

試験結果を表-4 に示す。

H 鋼に鋼球を落下させた場合、高さ 200mm ですぐに防護柵支柱に 2300mm の高さから落下させた場合に近いボルト軸力が発生している。また、ここでクラックの発生がみられた。落下高さを高くし 4 回目（500mm 高さ）でコンクリート片が剥離し、試験を中止した。

この試験から、今回検討を行った補強構造は、同一地覆に繰り返し車両が衝突した場合、4 回程度の繰り返し衝突に耐え得る強度を有しているものと考えられる。

表-4 繰り返し载荷と変形状況

繰返回数	支柱	鋼球落下高さ(mm)	ボルト軸力(kN/2 本)	コンクリートの変形状況
No.1	防護柵支柱	2300	232	変形なし
No.2	H 型鋼	200	241	微細クラック 最大幅 0.1mm
No.3		300	264	微細クラック 最大幅 0.35mm
No.4		500	311*	コンクリート剥離

*アンカー破断

5. まとめ

バリアフリー歩道の薄型地覆に車両用防護柵支柱を設置する場合の地覆補強方法として、地覆高さ 130mm の薄型地覆で車両衝突に耐え得る補強構造を把握することができた。また、この補強構造は、数回程度の繰り返し衝撃に対して必要な強度を有することを確認した。従って、今後薄型地覆に車両用防護柵を設置する場合には、当面、今回検討を行った補強構造を採用していくことが考えられる。

しかし今回の検討では、車両防護柵支柱を設置する薄型地覆の設計方法として確立するまでには至っていない。また、今回の検討結果では、車両衝突時に地覆強度は限界に近く、安全率などを考慮した余裕のある強度は得られていない。地覆高さ 130mm が条件として厳しいことが大きな理由であるが、このような条件でも地覆の健全性を確保できる補強方法について、さらに検討を加えていく必要がある。

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 20 年 1 月