# 落橋防止構造および横変位拘束構造の取付部の 付着性能に関する実験的検討

廣江 亜紀子1·中尾 尚史2·大住 道生3

1正会員	修	(工)	国立研究開発法人土木研究所	構造物メンテナンス研究センター	主任研究員
			(〒305-8516茨城県-	つくば市南原1-6)	
2正会員	博	(工)	国立研究開発法人土木研究所	構造物メンテナンス研究センター	専門研究員
			(〒305-8516茨城県-	つくば市南原1-6)	
3正会員	博	(工)	国立研究開発法人土木研究所	構造物メンテナンス研究センター	上席研究員
			(〒305-8516茨城県-	つくば市南原1-6)	

# 1. はじめに

地震による上部構造の変位を制限するために,落 橋防止構造や横変位拘束構造を設ける場合があり, これらは作用する水平力に対して弾性域に留まるよ うにすると現行の道路橋示方書V編<sup>1)</sup>には規定され ている.下部構造前面に取り付ける落橋防止構造は 引張力が卓越する構造であり,取付部にアンカーボ ルトを用いる場合には付着やコーン破壊等に対する 検証が必要となる.

しかし,既往の研究は埋込長の短い小径のアンカ ーボルトによる検証<sup>2)3)</sup>が多く,現行の道路橋示方書 Ⅲ編<sup>4)</sup>におけるアンカーボルトの適用範囲に合致し た,落橋防止構造の取付部を想定した既往の実験例 が少ない.

また、横変位拘束構造として用いる鋼棒はせん断 力が卓越するが、押し抜きせん断耐力とコンクリー トの埋込長に関する検討<sup>5)</sup>や縁端距離との関係を検 証した実験<sup>6</sup>が報告されているものの、実際に発生 する応力状態や定着部におけるコンクリートの圧壊 の影響についての検証が十分されていない。

本研究では、実験により引張抵抗型の落橋防止構 造に用いるアンカーボルト及びせん断抵抗型の横変 位拘束構造として用いる鋼棒に着目し、応力状態の 確認や付着の評価を行う.

# 2. 異形棒鋼の引き抜き試験

# (1) 試験概要

# a)供試体

図-1に示すような幅2300mm,奥行1500mm,高さ 550mmのRCブロック(設計基準強度24N/mm<sup>2</sup>,材 齢27日の圧縮強度30.3N/mm<sup>2</sup>)に埋込長10Dと15D の異形棒鋼(SD345,D32)を各1本設置した供試体 を作製した.下部構造前面を模した配筋を行い(図 -1右側),コンクリートを打設した後, φ40mmの 削孔を行った.孔内に異形棒鋼を設置し,エポキシ 樹脂で定着した.あと施工アンカーは,埋込長の下 端から45°の角度をもって引き抜きによるコーン破 壊が発生するとされていることから<sup>7</sup>,異形棒鋼を それぞれの埋込長に応じたコーン破壊の影響範囲が 重ならない位置に配置した.

異形棒鋼のひずみゲージの設置位置と試験におけ る変位計測位置を図-2に示す. 異形棒鋼には,あら かじめひずみゲージを設置した. 異形棒鋼のコンク リート埋込部には,異形棒鋼のリブに溝を切ってひ ずみゲージを設置した. 異形棒鋼は埋込長以深のコ ンクリートと異形棒鋼の付着を切ったうえで下端を RCブロックの底部と一致させ,下端の変位を変位 計により計測できるようにした. また,異形棒鋼の 頂部はボルトによる固定を行うため,M30のねじ切 りを行った.

#### b)試験装置

試験装置は,写真-1に示すように,ジャッキにより 男形棒鋼を引き抜く構造とした.異形棒鋼頂部お よびRCブロックとの境界位置には、変位計測のタ ーゲットを設置し、載荷試験中のそれぞれの点の変 位を計測できるようにした(図-2).試験装置の治 具については、それぞれの埋込長に応じたコーン破 壊の影響範囲外と考えられる位置に設置した.









# c) 載荷方法

載荷はジャッキによる鉛直方向の一方向載荷とし, 異形棒鋼の破断またはコーン破壊,付着破壊に至る まで載荷することとした.載荷中にRCブロック表 面にひび割れが発生したときには,載荷を一時停止 し,ひび割れ状況の確認を行った.

# (2) 試験結果

表-1に異形棒鋼の埋込長毎の試験結果を,図-3に荷 重と変位の関係を示す.なお,図-3(a),(c)は異形 棒鋼破断以降に計測値の電気的なノイズが発生した と考えられる.



(a) 埋込長10D
(b) 埋込長15D
図-2 ひずみ及び変位の計測位置

表-1 異形棒鋼の引き抜き試験結果

埋込長	最大荷重 (kN)	最大変位 (mm) 異形棒鋼 頂部	最大変位 (mm) RCブロッ ク界面位置	最大変位 (mm) 異形棒鋼 底部	破壞形状
10D	359	37.4	5.71	0.41	破断 (ねじ切り部)
15D	358	34.1	3.92	0.12	破断 (ねじ切り部)









埋込長10D,15Dともに、最大荷重に達した後, 異形棒鋼頂部のねじ切り部が破断した.図-3(a), (b)は、載荷開始から異形棒鋼が破断するまで、ほ ぼ同様の荷重-変位関係にあることが分かる.本試 験で用いた異形棒鋼と同種の鉄筋について引張試験 体3体を作製し、別途材料試験を行ったところ、降 伏強度および引張強度はそれぞれ3体の平均で 385N/mm<sup>2</sup>,566N/mm<sup>2</sup>となった.降伏耐力をD32の 公称断面積にて算出すると306kNとなり、図-3(a),(b)における降伏点の荷重とよく一致した.し かし、破断は異形棒鋼のねじ切り部で発生したため、 最大荷重は、D32の公称断面積により算出した引張 耐力(450kN)とは一致しなかった.

引き抜き試験におけるひび割れ発生を試験時に撮 影した動画で確認し,試験開始からひび割れ発生ま での時間をもとに,動的計測をした試験値からひび 割れ発生荷重を推定した.埋込長10Dの場合荷重が 323kNのときにコンクリート表面にひび割れが発生 し,ひび割れは写真-2(a)のように円形に進展した. 埋込長15Dでは,荷重が308kNのときにひび割れが 発生し,同様に円状に進展した(写真-2(b)).試 験後に計測したところ,ひび割れはコーン状であり, 最深部の深さは埋込長10Dでは30mm,埋込長15Dで は26mmであった.



(a) 10D
(b) 15D
写真-2 コンクリート表面のひび割れ

#### (3) 考察

# a) 各文献による耐力との比較

コーン破壊に対する耐力,付着破壊に対する耐力 について,道路橋示方書Ⅲ編<sup>4)</sup>の照査式(以下,道 示式)と土木学会によるコンクリートのあと施工ア ンカー工法の設計・施工指針(案)<sup>7</sup>による算定式 (以下,土木学会式)のそれぞれから求めた耐力と, 試験においてコーン状のひび割れが発生した荷重,

試験での最大荷重を表−2に示す.道示式,土木学会 式による耐力の算出にあたっては,コンクリートの 圧縮強度に材齢27日の強度(30.3N/mm<sup>2</sup>)を用いた. 道示式におけるコーン破壊の特性値はコンクリー

トの表面からアンカーボルト径の2倍の深さを起点 としたひび割れが発生し、表面のコンクリートが可 逆性を有する限界の状態に至ることを想定して設定 された値であり,付着破壊の特性値はコーン状の破 壊が生じた後に付着破壊が発生することを想定して 設定されている. そのため, 付着破壊の照査式では, コーン状の破壊(2D)分を差し引いた有効埋込長を 用いることとされている(図-4).一方,土木学会 式では、アンカーボルトの下端から45°の角度をも って引き抜きによるコーン破壊が発生することを想 定して式が作られている(図-5).このような式の 成り立ちの違いにより,道示式と土木学会式では, コーン破壊の耐力が大きく異なる結果となっている. なお、道示式は先付アンカーを対象とした式である が、ここでは接着剤を用いてあと施工をした異形棒 鋼に対して道示式を適用した.また、本試験で使用 した異形棒鋼の径D32に対して、土木学会式は適用 範囲がD25までであるため、土木学会式を外挿した 計算結果を掲載している.

表−2 各種耐力の比	北較
------------	----

埋込	破壞形式	道示式	土木	ひび割れ	最大荷重
長		kN	学会式	発生荷重	(実測値)
			kN	(実測値)	kN
				kN	
10D	コーン破壊	29	254	323	250
	付着破壊	77	229	-	539
15D	コーン破壊	29	572	308	259
	付着破壊	125	350	-	220



図-4 道示式によるコーン破壊,付着破壊の考え方



図-5 土木学会式によるコーン破壊の考え方

今回の試験のひび割れ発生の状態は,道示式の考 え方に近いが,実測したひび割れ発生荷重は道示式 を大きく超過していた.また,今回の試験結果にお いては,RCブロック表面の破壊面の深さは,埋込 長10Dでは30mm,埋込長15Dでは26mmであり,2D には満たなかった.また、半径2Dの円よりも大きい 範囲でひび割れとコンクリートの剥離が発生していた.最終的には異形棒鋼が破断することで試験は終 了した.

b) 試験における異形棒鋼のひずみ分布の変化

載荷試験の進捗に合わせた, コンクリート表面か ら深さ方向のひずみ分布の変化を,図-6および図-7 に示す.図には降伏ひずみ(1923µ)も図示する. ここで,降伏ひずみは異形棒鋼の材料試験による降 伏強度を道路橋示方書<sup>4)</sup>における鋼のヤング率で除 した値とした.



図-7 深さ方向のひずみ分布(15D)

深さ方向のひずみ分布をみると,埋込長10D, 15Dともに,ひび割れ発生以降,表面からの深さ 64mm (2D)までは10000µを超えるひずみが発生し ており,それ以深のひずみは小さいことが分かる. 埋込長10Dの場合は深さ160mm (5D)以深,埋込長 15Dのときは112mm (3.5D)以深において,異形棒 鋼破断後に除荷した後は,ひずみが減少し0に近い 値となった.図-3(c)においても,異形棒鋼底部の 変位は小さいことが確認できる.これらのことから, RCブロックの深部においては本試験終了後も異形 棒鋼はコンクリートに定着していると考えられる.

今回の試験結果において, RCブロックの深部では,引き抜きによりひずみが発生しても除荷後には

0に戻っており、大きな変位も発生しなかった.

# 3. 異形棒鋼のせん断試験

### (1) 試験概要

#### a)供試体

D32およびD51のそれぞれについて,載荷高さを 300mmとした場合と異形棒鋼の直径の1/2とした場 合の試験を行った.各条件の試験体数は1体とした. また,埋込長はすべて15Dとした.橋座部を模した RCブロックに,D32については \otherwide 40mm,D51につ いては \otherwide 65mmの削孔を行ったうえで,異形棒鋼を 設置し,エポキシ樹脂で定着した.使用した異形棒 鋼はSD345とした.頂部にはナットを取り付けられ るよう,D32の異形棒鋼はM30,D51の異形棒鋼は M48でねじ切りを行った.

D32の異形棒鋼による試験については、図-1の供 試体を用いた.D51の異形棒鋼による試験の供試体 は図-8に示す.異形棒鋼には、図-9に示す位置にひ ずみゲージを設置した.



図-8 せん断試験供試体 (D51)

#### b)試験装置

試験装置は、写真-3,4に示すように、厚さ32mm, 幅132mmのSM490材で作製した板状の載荷治具に空 けた φ 35mm (D32供試体用)または φ 62mm (D51 供試体用)の孔に異形棒鋼を通し、載荷治具をジャ ッキにより水平方向に引くことで異形棒鋼を載荷す る構造とした.載荷治具および異形棒鋼の載荷治具 とRCブロック表面との中間位置の変位を変位計に て計測した.





写真-4 載荷治具

# c) 載荷方法

載荷はジャッキによる水平方向の一方向載荷とし, 異形棒鋼が破断するまで載荷することとした.ジャ ッキのストローク限界まで異形棒鋼が破断しなかっ た場合は,そこで試験を終了することとした.

# (2) 試験結果

表-3に試験結果を示す. 異形棒鋼の引張試験の結 果 (D32の降伏強度 $\sigma_y$ =385N/mm<sup>2</sup>, D51の降伏強度  $\sigma_y$ =381N/mm<sup>2</sup>)をもとに算出したせん断耐力 ( $\sigma_y/\sqrt{3}$ として算出)も示した. 図-10には荷重と 載荷位置における載荷治具の水平変位の関係を示す. なお,載荷治具の変位値には異形棒鋼の載荷治具へ のめり込みや載荷治具と異形棒鋼の当たり位置のず れによる誤差が含まれている。

載荷高さが300mmの場合は、D32、D51の異形棒 鋼ともに破壊には至らずジャッキのストロークが限 界に達したため、そこで試験を中止した.載荷高さ がD/2の場合は、D32、D51の異形棒鋼ともに、載荷

表-3 異形棒鋼のせん断試験結果

異形	載荷	せん断	最大	載荷位置の	
棒鋼	高さ	耐力	荷重	最大変位	破壞形状
直径	(mm)	(kN)	(kN)	(mm)	
D32	300 16	176	39.2	192	破断せず
					(曲げ変形)
		16 (D/2)	139	55.8	せん断+
	(D/2)				引張
D51	300	446	85.3	197	破断せず
					(曲げ変形)
	25.5		428	105	せん断+
	(D/2)				引張



図-10 荷重と載荷位置における水平変位の関係



写真-5 試験後の異形棒鋼の形状

位置付近にて,異形棒鋼のねじ切り部が破断した. 試験後の異形棒鋼の形状を**写真-5**に示す.

D51載荷高さ25.5mmの試験において,水平変位 75mm程度で一度荷重が大幅に低下しているのは, ナットの位置の変更に際し,一旦除荷を行ったため である.また,D51載荷高さ300mmの試験において, 水平変位90mm程度で荷重が一時低下したのは,載 荷治具と異形棒鋼のねじ切り部のかみ合わせがずれ たために,一時的に荷重が抜けたものと考えられる.

すべての試験において,異形棒鋼の定着部付近に, コンクリートの圧壊に伴い,写真-5に示した位置に 局所破壊が発生している.局所破壊の深さは,D32 載荷高さ300mmのとき26mm,D32載荷高さ16mmの とき61mm,D51載荷高さ300mmのとき54mm,D51 載荷高さ25.5mmのとき86mmであった.

# (3) 考察

# a) 耐力の比較

表-3よりσ<sub>y</sub>/√3として求めたせん断耐力と比較す ると載荷高さD/2のときの最大荷重の方が小さい. これは、局所破壊に伴う曲げモーメントの発生が耐 力に影響している可能性が考えられる.ただし今回 の試験で破断したのはねじ切り部である.ねじ切り 部の実測径を考慮するとせん断耐力はD32(M30) で103kN,D51(M48)で284kNとなり、最大荷重よ りも小さい値となる.今回の試験においては、最大 荷重に影響を与える要因として、局所破壊とねじ切 りが考えられるため、要因の特定のためには解析に よる検討が必要となる.

## b) 異形棒鋼に発生したひずみ

載荷高さD/2の試験について,異形棒鋼のRCブロ ック表面位置(図-9におけるひずみゲージ5,6)に 発生したひずみと載荷位置における載荷治具の水平 変位の関係を図-11に示す.図中には降伏ひずみも 併せて併記するが,降伏ひずみの算出にあたっては, 道路橋示方書<sup>4</sup>)における鋼のヤング率を用いた.





図-11からひずみゲージ5では圧縮ひずみが,ひず みゲージ6では引張ひずみが発生していることが分 る.このことから,載荷高さD/2の場合でも,せん 断のみでなく、曲げが影響しているといえる.

# 4. 結論

本研究により、以下のことが明らかとなった.

(1)引き抜き試験結果と道示式,土木学会式と比較により,耐力の算定値と実測値に差異があること, 道示式で想定しているひび割れ範囲と試験において 発生したひび割れ範囲が異なることを確認した.

(2) 異形棒鋼の引き抜き試験により, RCブロックの深部においては,引き抜きによりひずみが発生しても除荷後にひずみが0に戻ることを確認した.

(3) 異形棒鋼のせん断試験において、当初の目的 であった載荷高さによる破壊モードに違いを確認す ることができた.また、載荷高さD/2であっても、 曲げが影響していることを確認した.

本試験の破壊メカニズムを明らかにするには、今 後更なる検討を要する.

**謝辞**:本研究の一部はJSPS科研費JP18K04340の助成 を受けたものである.

## 参考文献

- 日本道路協会:道路橋示方書(V耐震設計編)・同 解説,丸善出版, 2017.
- 三倉寛明,田所敏弥,岡本大,笠裕一郎:耐荷機構 に基づくあと施工アンカーの引抜耐力に関する一考 察,コンクリート工学年次論文集,Vol.37,No.2, pp. 505-510,2015.
- 三倉寛明,田所敏弥,岡本大,笠裕一郎:あと施工 アンカーの引抜耐力におよぼすへりあき寸法とアン カー間隔の影響,コンクリート工学年次論文集, Vol.39, No.2, pp. 463-468, 2017.
- 日本道路協会:道路橋示方書(Ⅲコンクリート橋・ コンクリート部材編)・同解説,丸善出版,2017.
- 5) 森北一光・皆川聡一・石崎茂・福富眞:アンカーボ ルトの埋込長とせん断耐荷力の関係について、コン クリート工学年次論文集, Vol.31, No.2, pp. 1489-1494, 2009.
- 6) 安藤祐太郎,中野克彦,松崎育弘,杉山智昭:接着 系あと施工アンカーのせん断耐力に及ぼすへりあき 効果の影響に関する実験的研究,コンクリート工学 年次論文集, Vol.31, No.2, pp. 679-684, 2009.
- 7) 土木学会コンクリート委員会あと施工アンカー小委員会編:コンクリートのあと施工アンカー工法の設計・施工指針(案),コンクリートライブラリー141号,2014