

# 論文 高強度 RC 板におけるあと施工アンカーの引抜試験

井口 重信\*1・小谷 美佐\*1・小林 将志\*1

**要旨:**部材厚の薄い高強度 RC 板を対象に鉄筋径や定着長をパラメーターとしたあと施工アンカー鉄筋(以下, アンカー筋)の引抜試験を行った。その結果, RC 板の損傷形態は, ①アンカー鉄筋損傷(引張降伏), ②コンクリート付着損傷, ③コンクリート割裂損傷 の 3 つに分類できることが判明した。また, 既往の研究成果による強度推定式と比較することで, 本研究の範囲において適応可能な式と適応が難しい式を明らかにした。

**キーワード:**アンカー筋, 引抜試験, 付着応力

## 1. はじめに

部材厚の薄い高強度の RC 板にあと施工アンカーを設置する場合, アンカー鉄筋の径と埋込長を決定する必要がある。しかし, ①高強度コンクリート(圧縮強度  $40\text{N/mm}^2$  以上)のアンカー筋の引抜耐力に関する研究例が少ない, ②部材断面の薄い RC 板のアンカー筋の引抜試験例が少ないなどの理由から, 高強度 RC 板にあと施工アンカーを施工する場合の設計手法については不明確な点が多い。そこで, 比較的強度の高い RC 板を対象に, あと施工アンカー筋の設計に必要な鉄筋径および定着長の決定方法を検討するため, アンカー筋の引抜試験を行った。

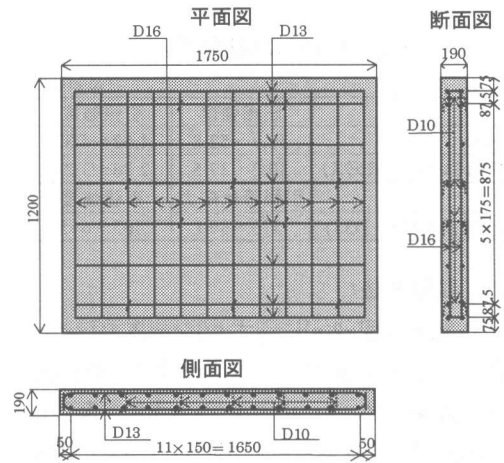


図-1 試験体一般図

## 2. 載荷試験の概要

### 2.1 試験体

載荷試験には高強度 RC 板を用い, アンカー筋を無収縮モルタルで定着させたものを試験体とした。試験体の一般図を図-1 に示す。なお, 本載荷試験では, RC 板の厚さ, アンカー鉄筋の径および埋込長の 3 つをパラメーターに試験体を作製し, 計 20 本のアンカー鉄筋の引抜試験を行った。表-1 に試験ケースを示す。表中のケース名称は RC 板厚さ(mm)-鉄筋径(mm)-埋込長( $\phi$ )を示している。

RC 板の形状は  $1750 \times 1200$  mm の長方形で, 板厚は 160 mm と 190 mm の 2 種類を用意した。補

表-1 試験ケース

No.	ケース	部材厚	鉄筋径	埋込長
1	190-D16-10 $\phi$	190(mm)	D16	10 $\phi$
2	190-D16-15 $\phi$			15 $\phi$
3	190-D16-20 $\phi$			20 $\phi$
4	190-D19-10 $\phi$		D19	10 $\phi$
5	190-D19-15 $\phi$			15 $\phi$
6	190-D19-20 $\phi$			20 $\phi$
7	190-D25-10 $\phi$		D25	10 $\phi$
8	190-D25-15 $\phi$			15 $\phi$
9	190-D25-20 $\phi$			20 $\phi$
10	190-D29-10 $\phi$		D29	10 $\phi$
11	190-D29-15 $\phi$			15 $\phi$
12	190-D29-20 $\phi$			20 $\phi$
13	190-D35-10 $\phi$		D35	10 $\phi$
14	190-D35-15 $\phi$			15 $\phi$
15	190-D35-20 $\phi$			20 $\phi$
16	160-D16-15 $\phi$	160(mm)	D16	15 $\phi$
17	160-D19-15 $\phi$		D19	
18	160-D25-15 $\phi$		D25	
19	160-D29-15 $\phi$		D29	
20	160-D35-15 $\phi$		D35	

\*1 東日本旅客鉄道(株) 上信越工事事務所 工事管理室 (正会員)

強鉄筋は、あと施工するアンカー鉄筋と垂直となるように引張鉄筋(D16)を、上下2段、150mmピッチに配置した。あと施工アンカー用の孔は、RC板製作時にスパイラルシース(φ45)を埋め込み、RC板硬化後にシースを撤去することで確保した。このシース孔に無収縮モルタルを充填し、アンカー鉄筋を挿入、定着させた。アンカー鉄筋には、ひずみゲージを貼付することを考え、異形棒鋼と付着特性が同等のネジ付き鉄筋(SD345)を用いた。表-2 に試験体に用いたコンクリート、無収縮モルタルおよびアンカー鉄筋の材料試験結果を示す。

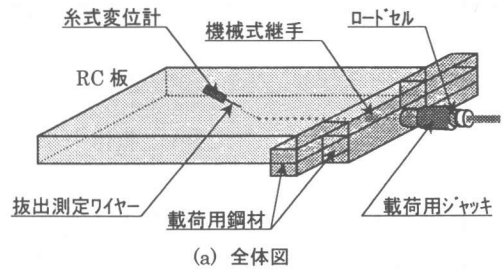
表-2 材料試験結果

	(N/mm <sup>2</sup> )	
	圧縮強度	引張強度
コンクリート	50.3~52.8	4.57~4.82
無収縮モルタル(フレックス)	30.2~37.5	2.86~3.24
アンカー鉄筋(D16~D35)	引張降伏応力	引張強度
	373~390	465~615

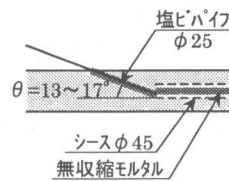
## 2.2 試験方法

引抜試験は図-2(a)に示すような装置で行った。試験体は水平に設置し、アンカー鉄筋を機械式継手で連結しセンターホールジャッキにて緊張した。引抜きは、アンカー鉄筋が降伏するまでは荷重制御で行い、降伏以降は変位制御により载荷を続け、アンカー鉄筋の破断もしくは設置したひずみゲージが 40000 μ ~ 50000 μ のひずみを検知した時点で実験を終了した。

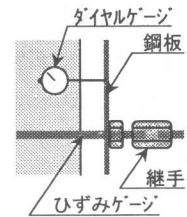
本試験では、アンカー鉄筋の拔出し量を、アンカー鉄筋端部位置で測定した。アンカー鉄筋端部の拔出し量は図-2(b)に示すように、アンカー鉄筋端部に接着したワイヤーを塩ビパイプに通して配置し、その変位で測定した。RC板側面位置での拔出し量は図-2(c)に示すようにダイヤルゲージで測定した。また、アンカー鉄筋のひずみは、RC板側面位置にひずみゲージを貼付し測定した。なおRC板内部でのアンカー鉄筋のひずみはコンクリートとの付着を妨げる可能性があったため測定しなかった。その他、コンクリートのひび割れ状況などは目視で確認した。



(a) 全体図



(b) 鉄筋端部詳細図



(c) RC板側面詳細図

図-2 载荷試験方法

## 3. 試験結果

### 3.1 損傷の種類

試験体の損傷形態を分類すると、下記の(1)から(3)に示す3つに分けられた。試験終了時における損傷形態は、各損傷形態の足し合わせ的なものがほとんどであった。損傷形態の状況を図-3に示す。

#### (1) 鉄筋損傷

RC板のひび割れ等の損傷に先行してアンカー鉄筋が引張降伏をむかえる損傷形態を鉄筋損傷と呼ぶことにする。RC板には外観により観察されるひび割れや剥離などは見られなかった。

#### (2) コンクリート付着損傷

アンカー鉄筋とRC板の付着力がアンカー筋の引張力よりも小さいためにアンカー筋が拔出し、損傷を受ける場合の損傷形態をコンクリート付着損傷と定義する。ここで述べる付着力とは、コンクリートとアンカー筋との間の摩擦力、接着力および鉄筋のふしの機械的な噛み合わせによる抵抗力などの、アンカー筋の引張力に対する抵抗力のことである。この損傷形態では、RC板内部で鉄筋のふしから生じたひび割れが、RC板側面あるいはRC板上面まで達したと考えられるひび割れが観測された。前者は、鉄筋を中心に巻き巻く

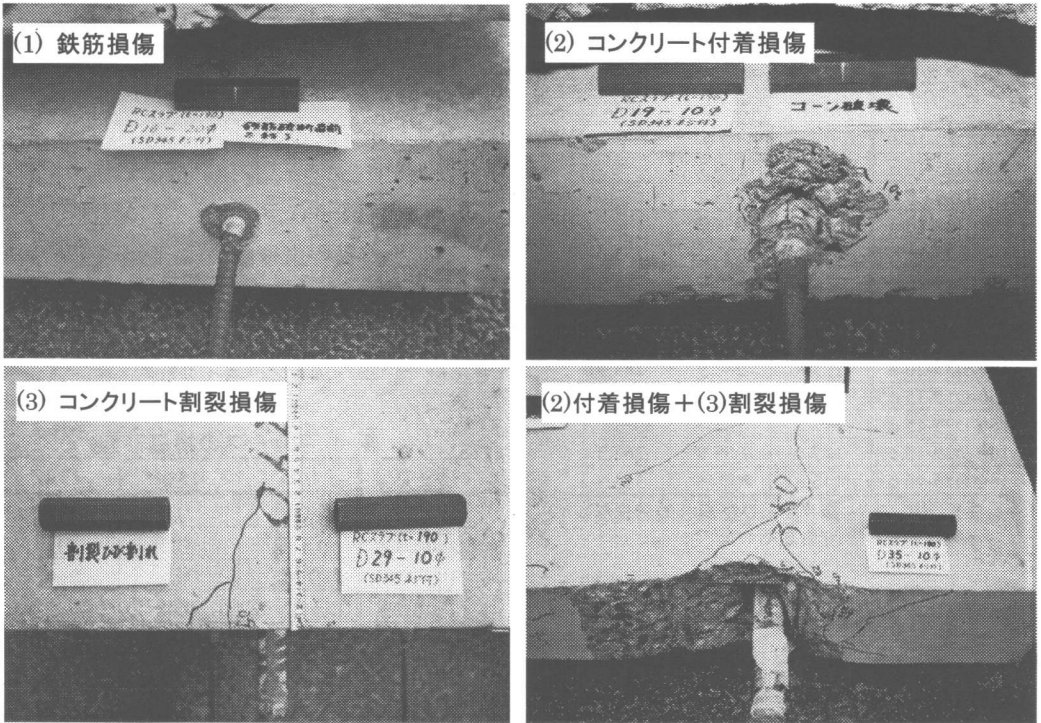


図-3 RC板の損傷状況

ように波状にひろがり(波状ひび割れ)、後者は環状にひろがった(環状ひび割れ)。コンクリート附着損傷の機構を図-4に示す。また、波状ひび割れが発達し、アンカー筋が周辺のコンクリート塊とともにコーン状に抜出る、いわゆるコーン破壊という現象も見られた。

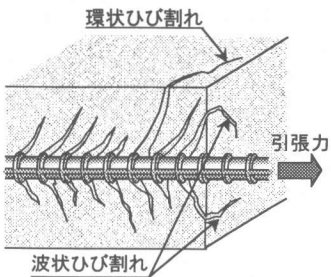


図-4 コンクリート附着損傷機構

リートの割裂損傷と定義する。この損傷は鉄筋のふしによってコンクリートの円周方向に発生する引張応力によって生じると考えられ、RC板部に発生した鉛直方向のひび割れが引張力の増加に伴い、アンカー鉄筋の軸に並行したひび割れ(割裂ひび割れ)に発達するものである。損傷の機構を図-5に示す。

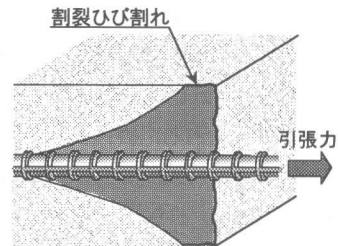


図-5 コンクリート割裂損傷機構

### (3) コンクリート割裂損傷

アンカー鉄筋が引張られることでRC板とアンカー鉄筋のかぶりが薄い部分にアンカー鉄筋に並行してひび割れが発生する損傷形態をコンク

### 3.2 ひび割れ発生荷重

コンクリート割裂損傷のあらわれである割裂ひび割れ、及び附着損傷のあらわれである環状ひび割れとコーン破壊の発生荷重を表-3に示す。

表-3 ひび割れ発生荷重

ケース	(kN)		
	割裂損傷	付着損傷	
	割裂	コーン	環状
190-D19-10 φ	-	92.0	-
190-D25-10 φ	-	169.3	-
190-D25-20 φ	215.4	225.2	-
190-D29-10 φ	233.8	251.7	-
190-D29-15 φ	230.4	302.7	277.0
190-D29-20 φ	235.0	273.7	311.3
190-D35-10 φ	205.6	283.9	264.3
190-D35-15 φ	195.8	325.1	324.7
190-D35-20 φ	195.8	283.9	283.9
160-D19-15 φ	117.5	252.5	-
160-D25-15 φ	117.5	245.7	-
160-D29-15 φ	127.0	288.8	264.3
160-D35-15 φ	146.9	*****	313.3

注) - 該当するひび割れの発生なし  
 \*\*\*\*\* 測定ミス

表-3 から、載荷試験における RC 板のひび割れは、割裂ひび割れ→環状ひび割れ→波状ひび割れ(コーン破壊)順に発生する傾向が強く、コンクリートの割裂損傷が付着損傷に先行することが判明した。また、コーン破壊(付着損傷)は単独でも生ずるが、割裂ひび割れ(割裂損傷)を起こすものについては必ずコーン破壊及び環状ひび割れを発生した。

### 3.3 損傷形態の分類

3.1 で述べた損傷の分類に従って、載荷試験の結果を分類すると、表-4 のようになる。ここで述べる終局の損傷状態は、アンカー鉄筋の破断もしくはひずみゲージが 40000 μ ~ 50000 μ のひずみを検知した時点での損傷形態であり、厳密には終局状態を表してはいないが、終局状態もほぼ同一であると考えられるため、この時点で判定した。表-4 中で、①の鉄筋損傷についてはアンカー鉄筋に貼付したひずみゲージでの引張降伏ひずみの検出の有無で判定した。②から③については、外観の目視による観察で判定した。

①の鉄筋損傷が先行して発生するものは、埋込長が短いものに多く、鉄筋降伏後は引抜力の増加はなかった。一方、②~③のコンクリート板の損傷で終局をむかえるものは比較的埋込長の

長いもので、付着損傷(コーン破壊)を生じた後も、引抜力は鉄筋降伏力以上には増大せず減少していった。また、コンクリート割裂損傷は単独では起こらず、付着損傷と合わせて生じる結果となった。以上をまとめると、各種の損傷形態の現れる順序としては図-6 に示す 4 タイプにわけられる。

アンカー鉄筋の引抜耐力は、Type I については鉄筋降伏力、Type II についてはコンクリートの付着耐力、Type III 及び IV については割裂耐力で評価する必要があると考えられる。

表-4 各ケースの損傷形態

ケース	10 φ	15 φ	20 φ
190-D16	①	①	①
190-D19	①→②	①	①
190-D25	①→②	①	③→②
190-D29	①→③→②	①→③→②	③→②
190-D35	①→③→②	③→②	③→②
160-D16		①	
160-D19		③→②	
160-D25		③→②	
160-D29		③→②	
160-D35		③→②	

凡例 : ①鉄筋損傷  
 ②コンクリート付着損傷  
 ③コンクリート割裂損傷

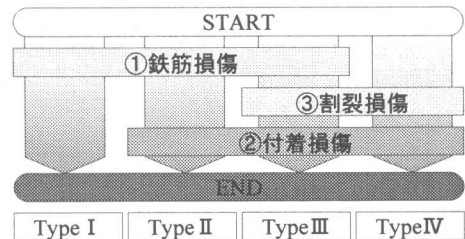


図-6 損傷形態の推移

## 4. 考察

### 4.1 コンクリート付着損傷

コーン破壊の原因となる、コンクリートの付着損傷について考察する。アンカー筋の引張強さの研究として、鉄筋根元部分をコーン破壊区間、それ以深の付着破壊区間に分けて引張抵抗を算定する方法として、村松らの提案する式<sup>1)</sup>が有名である。村松らは、コーン破壊の大きさに影響を及ぼさない程度大きな供試体で数多くの実験を

し、その結果からコーン破壊区間を4φとしている。しかし、今回の場合では板厚以上の径のコーン破壊は発生しておらず、この仮定ではコーン破壊区間を過大に評価する恐れがある。そこで、コーン破壊の底面直径を板厚とし、それからコーン破壊区間を決定した。また、コンクリートの付着強度の算定方法についても、実験条件等が異なることからコンクリート標準示方書の求め方により算定した。式(1)にコンクリートの付着耐力の算定式を、図-7に付着損傷(コーン破壊)の損傷形状のモデル図を示す。

$$T_{cl} = \frac{\pi x}{\cos \alpha} (x \tan \alpha + D) f_t + \pi \phi (L - x) f_{bo} \quad (1)$$

ここに、 $T_{cl}$ :付着耐力(N)、 $x$ :コーン破壊区間長(mm)、 $\alpha$ :コーン破壊頂角(=54°)、 $D$ :削孔径(mm)、 $\phi$ :鉄筋径(mm)、 $L$ :埋込長(mm)、 $f_t$ :コンクリート引張強度(N/mm<sup>2</sup>)、 $f_{bo}$ :コンクリート付着強度(N/mm<sup>2</sup>)<sup>2)</sup>

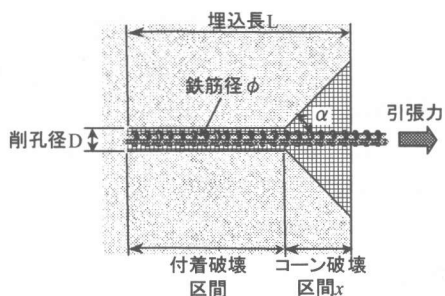


図-7 付着損傷(コーン破壊)の損傷形状

式(1)右辺の第1項はコーン破壊区間に対する、第2項は付着破壊区間に対する耐力を表す部分である。式(1)によりコンクリートの付着耐力 $T_{cl}$ を求め試験結果と比較したところ、図-8のようになった。これを見ると、定着長が長い時のほうが計算値と試験値がよく一致することが分かる。また、部材の厚さが薄いものについてはあまり精度がよくないことから、この式が比較的マッシブなコンクリートを対象にした引抜耐力の算定式であることがうかがえる。D19-10φのケースを除いてすべてのケースで、試験値のほうが計算値よりも上回っているが、これは式(1)が付着耐力を算定する式であり、コーン破壊により破壊することを想

定しているのに対し、試験ではコーン破壊後もコーン破壊区間以深の付着力により耐力が伸びたケースもあるためであると考察される。

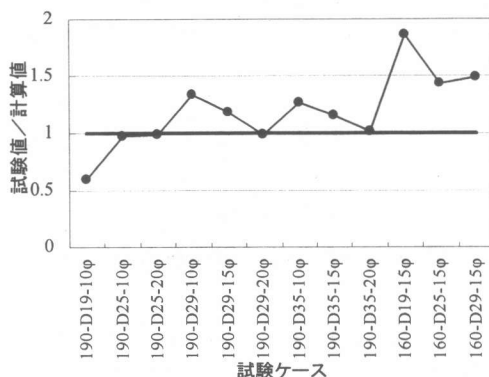


図-8 コンクリートの付着耐力の比較

#### 4.2 コンクリートの割裂損傷

コンクリートの割裂損傷の考え方として、Orangunらの重ね継手に関する定着長の考え方などがある<sup>3)</sup>。彼らの提案した式は、梁の曲げによる割裂破壊を対象としており、今回の単純引抜きによる割裂とは現象が異なると考えられる。しかし、割裂に関する強度はOrangunらの式をもとにしているものも多く、信頼性も高いことから今回検討することにした。算定式を式(2)に示す。

$$T_{c2} = \frac{\pi \sqrt{f'_c}}{100} \left[ \left( 2.23\phi + 5.59C + 1.3 \frac{A_{tr} f_{tr}}{s} \right) l_d + 28.5\phi^2 \right] \quad (2)$$

ここに、 $T_{c2}$ :割裂耐力(N)、 $f'_c$ :コンクリート圧縮強度(N/mm<sup>2</sup>)、 $\phi$ :アンカー鉄筋径(mm)、 $C$ :定着する鉄筋のかぶりと定着する鉄筋のあきの1/2のうち小さい方の値(mm)、 $A_{tr}$ :横方向鉄筋の断面積(mm<sup>2</sup>)、 $f_{tr}$ :横方向鉄筋引張降伏応力度(N/mm<sup>2</sup>)、 $s$ :横方向鉄筋の中心間隔(mm)、 $l_d$ :定着長(mm)

式(2)により割裂耐力 $T_{c2}$ を求め試験結果と比較したところ、図-9に示すようになった。板厚に比べ鉄筋径が小さいものほど計算値と試験値は近くなった。しかし、160-D35-15φのケースなどでは、計算値が試験値の2倍以上になっており、一樣にOrangunらの考え方を適用することは難しいと考えられる。

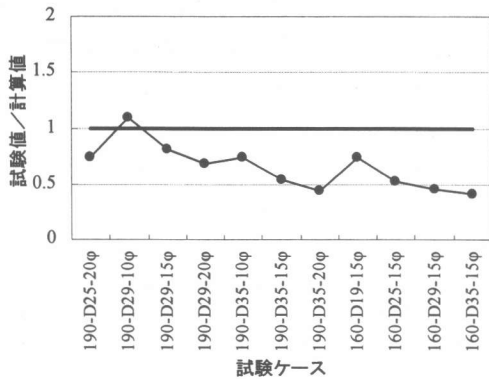


図-9 コンクリートの割裂耐力の比較

今回の場合、表-3の結果からも分かるように、鉄筋径や定着長の影響をほとんど受けていない。本試験で割裂ひび割れの発生荷重に一番影響した要因はアンカー鉄筋のかぶりの大きさで、アンカー鉄筋のかぶりと割裂ひび割れ発生荷重の関係は図-10のようになる。これをみると、アンカー鉄筋のかぶりとひび割れ発生荷重が直線近似できることが判明した。ただし、今回の試験に限った結果なので一般性があるかどうかは検討の余地がある。

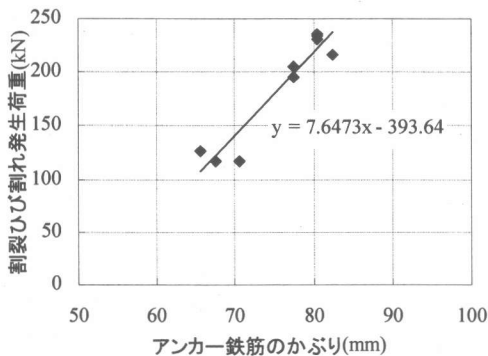


図-10 かぶりと割裂ひび割れ発生荷重の関係

### 5. まとめ

薄肉な高強度 RC 板を対象に鉄筋径や定着長をパラメーターとしたあと施工アンカーの引抜試験を行い、今回の試験範囲においては以下のような結果が得られた。

- (1) 損傷形態は、アンカー鉄筋損傷、コンクリートの付着損傷およびコンクリートの割裂損傷の3つに分類できる。
- (2) 鉄筋径および定着長が長くなるにつれ、損傷形態は付着破壊から割裂破壊へ遷移していく傾向がある。
- (3) 付着損傷では波状ひび割れ及び環状ひび割れが、割裂損傷では割裂ひび割れが生じる。
- (4) 割裂損傷は付着損傷に先行して発生する。
- (5) 村松らの提案した付着耐力の算定式で付着耐力を算定すると、おおよそコーンひび割れの発生荷重を推定できる。しかも定着長が長くなるほど精度が高くなる傾向が強い。
- (6) Orangun らの提案した割裂に対する定着長を展開して得られる割裂耐力算定式では、割裂ひび割れを推定することは難しい。
- (7) 割裂ひび割れの発生荷重はアンカー鉄筋のかぶりにのみ起因し、直線で近似できる。

### 【参考文献】

- 1) 村松 和仁, 宗 栄一: エポキシ樹脂アンカーの引張り強さに関する実験的研究, 第6回コンクリート工学年次講演会論文集, pp.389-392, 1984
- 2) 土木学会: コンクリート標準示方書[設計編], pp.19, 1996.3
- 3) C.O.Orangun, et al; A Reevaluation of Test Data on Development Length and Splices, Title No.74-11, ACI Journal, Mar. 1977