ストレート穿孔充填セメントモルタルの側面付着抵抗力和 シアキーを設けた場合の引抜耐力

シアキー付き穿孔セメントモルタル充填式あと施工アンカーボルト耐力の基礎的研究 (その1)

TENSILE STRENGTH OF ANCHOR BOLTS IN A STRAIGHT BORE AND IN A DENTED BORE

Bearing capacity of anchor bolts in a dented bore of concrete
with filling cement mortar (Part 1)

浜田公也*, 河村博之**

Kimiya HAMADA and Hiroyuki KAWAMURA

This paper is described that in order to put anchor bolts of the above title to practical use, the pull-out tests of anchor bolts with a head were carried out those were embedded in concrete rectangular prisms with a straight bore and with a dented bore (we said usually "with shear-key") of various size of depth and diameter, and the effect on tensile strength, displacement and shape of concrete failure have been investigated.

To summarize the results of experiment, in the case of not "with shear-key", we have clarified the relation between size of depth and diameter and adhesive strength of bore sides, and also have clarified that the tensile strength and the displacement had become unstable by state of bore sides.

In the case of "with shear-key", we have obtained the each formula of estimation of the bearing capacity according to the types of failure : slip out failure, cone failure and rupture of bolt, and we have shown the possibility of practical use of the above titled anchor bolts. And validity of shear key was verified most effective for stability of bearing capacity of anchor bolts.

Keywords : post installed anchorage, concrete anchor, shear key

1. まえがき

1.1 シアキー付き穿孔セメントモルタル充填式あと施工アンカーボルト開発の背景

鉄筋コンクリート構造物の改修や設備機器の取り付け等に、アンカーボルトが使用されているが、コンクリート打設後に設置する「あと施工アンカーボルト」は位置を自由に決めやすいことから、次第に数多く使用されるようになってきた。

あと施工アンカーボルトは、日本コンクリートアンカー協会のあと施工アンカー試験方法によれば、金属拡張系アンカーと接着系アンカーに分類されている。これらのあと施工アンカーの引抜耐力は、いずれもその抵抗メカニズムから、慎重に施工管理を行わなければ不安定になりやすいことは周知のとおりであり、また、穿孔後

の取り付け位置の微調整など、本質的に解決しにくい問題点も残されている。

このような現状から、筆者らは、安定した耐力、変形量が得られ、かつ耐久性、耐火性があり、経済的なあと施工アンカーを作ること为目标に、側面に凹みを設けた穿孔に、頭付きボルトを埋込み、セメントモルタルを充填し固定する方法を考えた。

1.2 シアキー付き穿孔セメントモルタル充填式あと施工アンカーボルトの抵抗機構とその特徴

シアキー付き穿孔セメントモルタル充填式あと施工アンカーボルト (以後「シアキー付きアンカー」と呼ぶ) の形状を図-1に示すが、穿孔にシアキーとして凹みを設け、頭付きアンカーボルトを用いた理由を、抵抗機構から示すと、

本論文の一部は、日本建築学会大会学術講演梗概集 (1989) および日本建築学会研究報告中国・九州支部 (平成2年3月) に発表している。

* 九州産業大学 副手 (長崎大学大学院)

Junior Assistant, Kyushu Sangyo Univ.

** 九州産業大学 教授・工博

Prof., Kyushu Sangyo Univ., Dr. Eng.

図-1 シアキー形状

図-2 充填材と母材境界面の τ , σ 分布

接着系アンカーのように、凹みを設けない穿孔に埋込まれた鉄筋が、引抜きを受けた場合の穿孔側面位置での弾性応力分布は図-2(1)のようになり、せん断応力度 τ 、主引張応力度 σ_1 とともにコンクリート表面近くで最大となる。鉄筋と充填材、充填材と母材の境界での付着力が大きい場合は、この応力分布に近くなり、 σ_1 が最大になる位置から逐次破壊を起こしやすく、埋込み深さの中間あたりから錐状破壊を起こすことが多い。逆に付着力が小さいと鉄筋または充填部が抜出す。

このような破壊を防ぐためには、鉄筋と充填材の付着力が小さい丸鋼の先端に、抜出さない程度の大きさを持った定着金物を設け（頭付きボルトでも可）、機械的に抵抗させ、できるだけ深い位置の応力を大きくし（図-2(2)）、深い所から錐状破壊が生じるようにすればよい。しかしこの場合、埋込み深さが小さいと、充填材と母材の境界での付着力が引抜きに抵抗できなくなり、アンカー鉄筋が充填材と共に抜出す可能性がある。そこで、充填材側面にせん断力に抵抗するためのシアキーを設けることにより、埋込み深さが小さくても抜出し破壊が錐状破壊より先に生じないようにし、耐力の安定を計ったものである。

このシアキー付きアンカーの特徴としては、1) 抜出し抵抗は付着力だけでなく、充填材凸部（シアキー：shear-key）のせん断抵抗力にも期待するので、小さな

図-3 供試体形状

図-3 供試体形状

埋込み深さでも抜出し破壊を防げる。2) 充填材として使用するセメントモルタルは安価であり、既存 RC 母体と同質である。3) 短い頭付きボルトを使用するので、深い位置でコンクリートの主引張応力を大きくすることができ、後述の複合破壊を起こさない。4) 穿孔充填材注入前ならば取付け位置の微調整ができる。などが挙げられ、これらの予備的実験を行った結果、実用的に十分使用可能であることが分かったので、詳細に力学的性状を調べることにした。

1.3 研究目的

本報告は、まず第1報として、①ただ単にコンクリートドリルのみによるストレートな穿孔でも、頭付ボルトを埋込み、埋込み深さや穿孔径を大きくすれば、ボルト破断までコンクリートが抜出し破壊しないようにすることが可能であるが、この場合、どの程度の埋込み深さや穿孔径が必要かを明らかにすること、②穿孔深さが深いほど、また径が大きいほど、アンカーされるコンクリート側の都合により施工が不可能になる場合が多くなる。そのため、より浅く小さい径の穿孔で所定の耐力が得られるように、シアキー1個のせん断強度を明らかにすること、③シアキー1個では、所定の耐力を確保できない場合もあるので、シアキーを2~4個設けた場合の個数と引抜き抵抗力の関係を明らかにすること、を目的に、拘

表—1 供試体の種類と個数

シリーズ	シアキーの個数	ボルト径	穿孔径φ (mm)	埋込み深さ h (cm)	ボルト側面にマシン油塗布	穿孔側面にマシン油塗布	供試体の個数
A	0個	M12 M16 M20	21 28 35	5,7,9,11 5,7,9,11,13 5,7,9,11,13,15,17	無 無 無	有, 無 有, 無 有, 無	8種×3個 10種×3個 14種×3個
B	1個	M16	28	5,7,9,11,13	有, 無	有, 無	20種×3個
C	2個 3個 4個	M16 M16 M16	28 28 28	5,7,9,11,13 7,9,11,13 9,11,13	無 無 無	有, 無 有, 無 有, 無	10種×3個 8種×3個 6種×3個

写真—1 シアキー形状

穴あけ後カッターで中央縦割したもの

表—2 供試体形状および実験結果一覧表 (Aシリーズ シアキー無しの場合)

シアキー無
 マシン油塗布有 (1:マシン油塗布無)
 供試体記号の凡例 A00-12 -5 -1 ← 供試体No.,
 ボルト径 → 埋込み深さ h

要因	穿孔側面にマシン油塗布有							穿孔側面にマシン油塗布無						
	供試体記号	ボルト径穿孔径φ (mm)	埋込み深さ h (mm)	P _{max} (kg)	δ P _{max} (mm)	破壊形式		供試体記号	ボルト径穿孔径φ (mm)	埋込み深さ h (mm)	P _{max} (kg)	δ P _{max} (mm)	破壊形式	
ボルト径・埋込み深さ変化	A00-12 -5 -1	M12 21	50(44)	175	1.00	拔出し		A01-12 -5 -1	M12 21	50(50)	2750*	1.40	拔出し	
	2	〃	〃(45)	400	3.60	〃		2	〃	〃(50)	3050*	1.48	〃	
	3	〃	〃(45)	800	1.56	〃		3	〃	〃(50)	3100*	1.48	〃	
	7 -1	〃	70(66)	325	0.72	拔出し		7 -1	〃	70(71)	5050	2.18	ボルト	
	2	〃	〃(63)	1350	3.12	〃		2	〃	〃(71)	5200	2.18	〃	
	3	〃	〃(71)	725	0.43	〃		3	〃	〃(70)	5150	1.98	〃	
	9 -1	〃	90(91)	1850	4.06↑	拔出し		9 -1	〃	90(92)	4950	1.76	ボルト	
	2	〃	〃(91)	1500	4.46↑	〃		2	〃	〃(90)	5100	1.82	〃	
	3	〃	〃(91)	1800	1.97↑	〃		3	〃	〃(91)	5125	2.72	〃	
	11 -1	〃	110(103)	3650*	4.18↑	拔出し		11 -1	〃	110(112)	5050	1.86	ボルト	
	2	〃	〃(101)	1100	4.08↑	〃		2	〃	〃(109)	5050	2.00	〃	
	3	〃	〃(107)	—	—	—		3	〃	〃(110)	5100	1.66	〃	
	A00-16- 5 -1	M16 28	50(52)	700	4.12↑	拔出し		A01-16- 5 -1	M16 28	50(50)	1100	0.15	拔出し	
	2	〃	〃(52)	450	1.66	〃		2	〃	〃(50)	900	0.10	〃	
	3	〃	〃(52)	1350	2.60	〃		3	〃	〃(49)	1900	0.28	〃	
	7 -1	〃	70(72)	2750	4.48↑	拔出し		7 -1	〃	70(70)	1650	0.16	拔出し	
	2	〃	〃(70)	1450	4.42↑	〃		2	〃	〃(70)	4000*	1.14	〃	
	3	〃	〃(71)	2575	1.16	〃		3	〃	〃(70)	3650*	1.14	〃	
	9 -1	〃	90(93)	3150	2.18	拔出し		9 -1	〃	90(90)	8850	2.50	錐状	
	2	〃	〃(94)	6725*	4.48↑	〃		2	〃	〃(90)	9050	2.82	ボルト	
	3	〃	〃(92)	6200*	3.78	〃		3	〃	〃(90)	8750*	2.58	拔出し	
	11 -1	〃	110(111)	2850	4.40	拔出し		11 -1	〃	110(110)	9250	2.20	ボルト	
	2	〃	〃(112)	7100*	4.48↑	〃		2	〃	〃(111)	8850	2.42	〃	
	3	〃	〃(111)	6750*	3.60	〃		3	〃	〃(110)	9050	2.18	〃	
	13 -1	〃	130(131)	9250	2.21	ボルト		13 -1	〃	130(129)	9100	2.04	ボルト	
	2	〃	〃(131)	8950*	4.30	拔出し		2	〃	〃(132)	9200	2.18	〃	
	3	〃	〃(131)	8650	3.34	ボルト		3	〃	〃(128)	9200	1.90	〃	
	A00-20- 5 -1	M20 35	50(51)	1850	0.50	拔出し		A01-20- 5 -1	M20 35	50(52)	2050	0.20	拔出し	
	2	〃	〃(51)	1850	1.46	〃		2	〃	〃(51)	2475	0.20	〃	
	3	〃	〃(51)	2475	0.64	〃		3	〃	〃(50)	2075	0.16	〃	
	7 -1	〃	70(70)	3150	1.72	拔出し		7 -1	〃	70(70)	2475	0.16	拔出し	
	2	〃	〃(71)	3900	1.93	〃		2	〃	〃(70)	2100	0.18	〃	
	3	〃	〃(70)	3500	1.34	〃		3	〃	〃(71)	2000	0.10	〃	
	9 -1	〃	90(93)	4650	2.46	拔出し		9 -1	〃	90(90)	7500*	0.70	拔出し	
	2	〃	〃(92)	3925	2.55	〃		2	〃	〃(90)	8000*	0.88	〃	
	3	〃	〃(93)	5450*	1.50	〃		3	〃	〃(89)	4500	0.32	〃	
	11 -1	〃	110(110)	7550*	4.04↑	拔出し		11 -1	〃	110(113)	11900*	1.42	拔出し	
	2	〃	〃(112)	8750*	4.10↑	〃		2	〃	〃(113)	11950*	1.98	〃	
	3	〃	〃(113)	8100*	3.16	〃		3	〃	〃(112)	5400	0.58	〃	
	13 -1	〃	130(131)	12000	3.90	ボルト		13 -1	〃	130(130)	12400	2.28	ボルト	
	2	〃	〃(131)	11950*	4.10↑	拔出し		2	〃	〃(130)	12200	2.26	〃	
	3	〃	〃(130)	12200	3.68	ボルト		3	〃	〃(129)	12400	2.26	〃	
	15 -1	〃	150(150)	12000	2.14	ボルト		15 -1	〃	150(151)	12100	2.40	ボルト	
	2	〃	〃(153)	12300	2.28	〃		2	〃	〃(151)	12500	2.58	〃	
	3	〃	〃(153)	12500	2.60	〃		3	〃	〃(151)	11650	2.48	〃	
	17 -1	〃	170(170)	12100	2.00	ボルト		17 -1	〃	170(171)	11900	2.52	ボルト	
	2	〃	〃(172)	11800	2.08	〃		2	〃	〃(170)	11850	2.24	〃	
	3	〃	〃(168)	12900	2.58	〃		3	〃	〃(174)	11600	2.20	〃	
・材料強度 A00の供試体 A01の供試体 母材コンクリート : $\sigma_b = 273 \text{ kg/cm}^2$ $\sigma_b = 281 \text{ kg/cm}^2$ 充填セメントモルタル : $\sigma_b = 416 \text{ kg/cm}^2$ $\sigma_b = 457 \text{ kg/cm}^2$ ボルト破断耐力 : 5.1t (M12), 9.4t (M16), 12.5t (M20) ・()内は実測埋込み深さを示す														
・破壊形式の凡例 拔出し: 充填部拔出し破壊 錐状: 錐状破壊 ボルト: ボルト破断 ・* は拔出し破壊で, ボルト頭付近のモルタルが圧縮すべり破壊を起こしたものの荷重														

束支承-引張実験を行い、破壊性状と変形状および耐力性状について考察し、これらから、耐力推定式を導いたものである。

2. 実験

2.1 供試体の形状と作成

供試体は、図-3に示すような直方体母材型枠に、レディミクストコンクリート（セメント：細骨材：粗骨材＝1：2.42：3.70，水セメント比＝0.57，細骨材の粗粒率は2.70，粗骨材の粗粒率は6.56）を、穿孔面が側面になるよう打設し、3日後に脱型し、実験日まで室内空中養生して作製した。

穿孔は、頭付きボルトが挿入できる最小径のコンクリートドリル^{*1)}を用いて下穴をあけ、その後、シアキーを設ける供試体については、拡幅用ドリル^{*1)}を用いた。シアキー形状を写真-1に示し、シアキー形状実測寸法を図-1に示す。

埋込みボルトは、転造された六角ボルトを用いた。

充填材はセメントモルタル（セメント：砂：フライ

*1) 株式会社ミヤナガ製のコンクリートドリル（シングルプラスビット）、アンダーカッターを用いた。

アッシュ＝1：1：0.25，水セメント比＝0.46，砂は海砂で0.6mm以下とし粗粒率は1.73，AE減水剤としてポゾリスをセメント重量の1%を混入，コンシステンシーはJロート方法によるフロー値28秒）を用いた。

2.2 供試体の種類

本報告の実験供試体は表-1に示すように3つのシリーズに分けた。

Aシリーズはシアキーを設けず、ボルト径および穿孔径、埋込み深さを変化させた場合、どの程度の穿孔側面の付着強度があるのかを調べるための供試体である（表-2）。Bシリーズはシアキーをボルト頭付近に1個設けて、埋込み深さ、ボルト側面の付着状態を変化させた場合、どの程度のシアキーのせん断強度があるのかを調べるための供試体である（表-3）。Cシリーズは埋込み深さごとにシアキーを2～4個設けた場合、シアキーの個数と引抜抵抗力の関係を調べるための供試体である（表-4）。

また、これらすべてについて、穿孔側面の清掃処理不良や、充填セメントモルタルの収縮肌別れ等の施工状態が極めて悪い場合を想定して、穿孔側面にマシン油を塗布した場合と通常の施工状態を想定したマシン油を塗布しない場合の2ケースとした。

表-3 供試体形状および実験結果一覧表（Bシリーズ シアキー1個の場合）

シァキー 1 個
 穿孔側面にマシン油塗布有 (1:マシン油塗布無)
 供試体記号の凡例 B10- 5-0-1 供試体No.
 埋込み深さ h 1 1 ボルト側面にマシン油塗布有 (1:マシン油塗布無)

要 因	穿孔側面にマシン油塗布有							穿孔側面にマシン油塗布無						
	供試体 記 号	埋込み 深さ h (mm)	ボルト にマシ ン油	Pmax (kg)	δ o (mm)	δ Pmax (mm)	破壊 形式	供試体 記 号	埋込み 深さ h (mm)	ボルト にマシ ン油	Pmax (kg)	δ Pmax (mm)	破壊 形式	
ボ ル ト 側 面 の 付 着 ・ 埋 込 み 深 さ 変 化	B10- 5-0-1	50(52)	有	1725	0.14	0.54	拔出し	B11- 5-0-1	50(49)	有	2500	0.41	錐状	
	2	”(51)	”	1775	0.19	0.51	”	2	”(51)	”	2800	0.41	”	
	3	”(48)	”	1975	0.06	1.01	”	3	”(54)	”	2900	0.38	”	
	1-1	”(59)	無	2300	0.12	0.91	拔出し	1-1	”(55)	無	3025	0.67	錐状	
	2	”(51)	”	2325	0.12	0.99	”	2	”(53)	”	2750	0.36	”	
	3	”(51)	”	2525	0.05	0.86	”	3	”(52)	”	2950	0.46	”	
	7-0-1	70(70)	有	2500	0.07	0.71	拔出し	7-0-1	70(72)	有	4550	0.71	錐状	
	2	”(66)	”	2375	0.21	0.71	”	2	”(67)	”	3625	0.62	”	
	3	”(68)	”	3000	0.15	1.13	”	3	”(71)	”	4800	1.13	”	
	1-1	”(69)	無	2275	0.16	0.66	拔出し	1-1	”(70)	無	4750	0.67	錐状	
	2	”(69)	”	2850	0.15	0.73	”	2	”(69)	”	4450	0.74	”	
	3	”(67)	”	3275	0.14	0.93	”	3	”(71)	”	5025	0.85	”	
	9-0-1	90(89)	有	2425	0.14	0.72	拔出し	9-0-1	90(89)	有	5550	0.92	錐状	
	2	”(88)	”	2300	0.15	0.73	”	2	”(92)	”	7000	2.24	割裂	
	3	”(90)	”	3000	0.16	0.76	”	3	”(92)	”	6950	1.60	”	
	1-1	”(96)	無	3650	0.07	1.19	拔出し	1-1	”(90)	無	6475	1.19	錐状	
	2	”(94)	”	3500	0.09	0.80	”	2	”(92)	”	7000	1.64	割裂	
	3	”(92)	”	3725	0.08	1.12	”	3	”(94)	”	7475	1.75	”	
	11-0-1	110(109)	有	2975	0.07	0.51	拔出し	11-0-1	110(107)	有	7500	2.22	割裂	
	2	”(108)	”	6000	0.13	2.50†	”	2	”(110)	”	7950	2.06	ボルト	
	3	”(104)	”	2950	0.15	0.64	”	3	”(108)	”	8600	3.02	割裂	
	1-1	”(107)	無	3700	0.10	1.34	拔出し	1-1	”(102)	無	7950	2.23	割裂	
	2	”(108)	”	4500	0.14	0.78	”	2	”(111)	”	8150	1.42	ボルト	
	3	”(112)	”	3500	0.15	0.81	”	3	”(110)	”	8550	3.16	”	
	13-0-1	130(130)	有	5250	0.06	2.50†	拔出し	13-0-1	130(131)	有	8300	3.18	ボルト	
	2	”(130)	”	5650	0.14	2.50†	”	2	”(129)	”	8600	3.18	”	
	3	”(133)	”	3975	0.10	1.89	”	3	”(129)	”	8100	1.72	”	
	1-1	”(127)	無	4500	0.02	0.96	拔出し	1-1	”(126)	無	8200†	1.80	ボルト	
	2	”(128)	”	8100	0.01	2.50†	”	2	”(131)	”	8500	2.60	”	
	3	”(132)	”	4450	0.08	1.31	”	3	”(132)	”	7825	1.34	”	

• 材料強度 母材コンクリート : $\sigma_B = 258 \text{ kg/cm}^2$
 充填セメントモルタル : $\sigma_B = 437 \text{ kg/cm}^2$
 ボルト破断耐力 : 8.1t (M16)

• 破壊形式の凡例 拔出し : 充填部拔出し破壊
 錐状 : 錐状破壊
 ボルト : ボルト破断
 割裂 : 母材割裂破壊

• ()内は実測埋込み深さを示す

(1) シアキーを設けない場合 (Aシリーズ)

(2) シアキーを設けた場合 (B, Cシリーズ)

図-4 破壊形状のパターン

写真-2 破壊形状例 (供試体

記号: A01-20-11-2)

表-4 供試体形状および実験結果一覧表 (Cシリーズ シアキー 2~4 個の場合)

シアキー 2 個以上
 穿孔側面にマシン油塗布有 (1: マシン油塗布無)
 供試体記号の凡例 C20-5-2-1 ← 供試体 No.
 埋込み深さ h ← シアキーの個数

要因	穿孔側面にマシン油塗布有							穿孔側面にマシン油塗布無						
	供試体 記 号	埋込み 深さ h (mm)	凹みの 個数 n (個)	P _{max} (kg)	δo (mm)	δ P _{max} (mm)	破壊 形式	供試体 記 号	埋込み 深さ h (mm)	凹みの 個数 n (個)	P _{max} (kg)	δ P _{max} (mm)	破壊 形式	
凹みの 個数・埋込み 深さ変化	C20- 5-2-1	50(54)	2	2550	0.09	0.66	錐状	C21- 5-2-1	50(48)	2	2875	0.52	複合	
	2	55(55)	2	1950	0.11	0.49	複合	2	50(50)	2	2750	0.64	錐状	
	3	51(51)	2	2500	0.06	0.50	錐状	3	50(50)	2	2700	0.71	複合	
	7-2-1	70(70)	2	3450	0.06	0.62	錐状	7-2-1	70(72)	2	6500	2.15	錐状	
	2	73(73)	2	4900	0.06	1.69	複合	2	72(72)	2	5900	1.40	複合	
	3	72(72)	2	4500	0.05	0.86	錐状	3	72(72)	2	6175	2.13	錐状	
	3-1	70(69)	3	3950	0.03	1.26	錐状	3-1	70(72)	3	5950	1.53	錐状	
	2	70(70)	2	3250	0.02	0.63	複合	2	72(72)	2	5550	1.30	複合	
	3	71(71)	2	4650	0.05	1.62	複合	3	72(72)	2	5475	1.67	複合	
	9-2-1	90(91)	2	5900	0.08	3.18	拔出し	9-2-1	90(92)	2	8400	3.37	ボルト	
	2	90(90)	2	4750	0.11	2.64	複合	2	92(92)	2	8675	3.52	複合	
	3	90(90)	2	5850	0.03	2.10	複合	3	91(91)	2	7950	2.62	複合	
	3-1	90(91)	3	6700	0.10	2.35	錐状	3-1	90(91)	3	8100	2.64	ボルト	
	2	91(91)	2	6400	0.12	1.60	複合	2	91(91)	2	8700	3.36	錐状	
	3	92(92)	2	6550	0.06	2.88	複合	3	93(93)	2	8100	2.62	割裂	
	4-1	90(92)	4	6950	0.03	1.71	錐状	4-1	90(92)	4	8550	3.29	ボルト	
	2	91(91)	2	6650	0.02	2.02	複合	2	92(92)	2	8300	3.02	錐状	
	3	91(91)	2	6450	0.03	1.92	複合	3	93(93)	2	8050	2.70	ボルト	
	11-2-1	110(101)	2	6000	0.06	3.29	拔出し	11-2-1	110(113)	2	8500	3.29	ボルト	
	2	111(111)	2	5550	0.02	3.30	複合	2	112(112)	2	7975	2.30	複合	
	3	110(110)	2	8000	0.04	4.02↑	複合	3	113(113)	2	8350	2.34	複合	
	3-1	110(109)	3	8200	0.01	3.30	錐状	3-1	110(113)	3	8775	3.80	ボルト	
	2	109(109)	2	7900	0.05	2.91	複合	2	113(113)	2	8300	3.52	複合	
	3	110(110)	2	7950	0.01	2.43	ボルト	3	113(113)	2	8150	2.28↑	複合	
	4-1	110(110)	4	8700	0.02	2.87	割裂	4-1	110(113)	4	9100	3.74	ボルト	
	2	110(110)	2	7900	0.00	3.34	複合	2	112(112)	2	8800	3.34	複合	
	3	111(111)	2	8050	0.01	3.14	ボルト	3	113(113)	2	7625	2.30	複合	
	13-2-1	130(130)	2	8900	0.04	4.00↑	ボルト	13-2-1	130(132)	2	8550	3.07	ボルト	
	2	130(130)	2	7950	0.01	2.96	複合	2	131(131)	2	8750	4.24	複合	
	3	130(130)	2	7900	0.00	3.76	複合	3	130(130)	2	7875	2.44	複合	
	3-1	130(130)	3	9150	0.04	3.34	ボルト	3-1	130(124)	3	8000	2.82	ボルト	
	2	129(129)	2	8700	0.01	3.52	複合	2	123(123)	2	8075	2.44	複合	
	3	131(131)	2	8100	0.01	2.82	複合	3	127(127)	2	8500	3.38	複合	
	4-1	130(130)	4	8650	0.01	3.66	ボルト	4-1	130(125)	4	8100	2.36	ボルト	
	2	130(130)	2	9350	0.03	2.86	複合	2	127(127)	2	8075	2.42	複合	
	3	131(131)	2	8800	0.00	2.95	複合	3	125(125)	2	8850	3.32	複合	
・材料強度 C20の供試体 C21の供試体														
母材コンクリート : σ _b = 219 kg/cm ² σ _b = 336 kg/cm ²														
充填セメントモルタル : σ _b = 465 kg/cm ² σ _b = 493 kg/cm ²														
ボルト破断耐力 : 8.1t or 9.4t (M16)														
・()内は実測埋込み深さを示す														
・破壊形式の凡例 拔出し: 充填部拔出し破壊														
錐状: 錐状破壊														
ボルト: ボルト破断														
割裂: 母材割裂破壊														
複合: 拔出し+錐状

割裂後の断面

写真—3 破壊形状例 (供試体記号: B11-9-0-2)

図—5 P- δ 曲線のパターン

3. 実験結果

3.1 破壊形状

今回生じた破壊形状は図—4(1), (2) に示すようにシアキーを設けない場合で3つ, 設けた場合で5つのタイプに分けることができる。

① 充填部拔出し破壊は, 充填部と母材の付着が無くなって, また, シアキーのあるものはそれがせん断破壊し, 充填部が拔出たものである。最大荷重が比較的大きい充填部拔出し破壊をみると, ボルト頭付近の充填セメントモルタルは既に圧壊しており, 充填部長さが元より短くなっているのが分かる (例: 写真—2, 供試体記号 A01-20-11-2)。

② 錐状破壊は, ボルト頭から, または充填材凸部先端から表面に向かって円錐状に破壊したものである。

③ ボルト破断は, 埋込みボルトが破断または降伏したものである。

④ 母材割裂破壊は, 母材が完全に割裂したかまたは部分的に割裂したもので, 割裂後ボルト頭付近では, 充填モルタルはくさび状に圧壊しており, 母材は錐状破壊時と同形状のひび割れが生じている (例: 写真—3, 供試体記号 B11-9-0-2)。

⑤ 複合破壊は, シアキーを2~3個設けた場合に生じたもので, ボルト頭に近い方のシアキーはせん断破壊し, そのすぐ上のシアキー先端から錐状破壊したものである。

なお, 各供試体の破壊タイプを表—2, 3, 4中に記した。

3.2 変形状

荷重-変形曲線のパターンを, シアキーを設けない場合と設けた場合に分けて図—5(1), (2) に示す。

図—6 $P_{max} / \sigma_B P_u$ と h / ϕ の関係

図—7 $P_{max} / (\sigma_B A_o \sigma_B)$ と h の関係

穿孔側面にマシン油を塗布したものは塗布していないものに比べ, 初期剛性は小さい。マシン油を塗布したものは, 埋込み深さ h が小さいと最大荷重に達した後荷重

が若干低下し変形が進むものもあるが、そのほかは、抜け始めてからも荷重は一定に保たれるか、徐々に増加する。また、シアキーを設けて、穿孔側面にマシン油を塗布したものは、マシン油の隙間分の変形（遊び） δ_0 が生じる特徴がある。

3.3 最大荷重 P_{max} , 最大荷重時変形 δ_{Pmax}

表—2, 3, 4 に、今回の実験で生じた、最大荷重 P_{max} , 穿孔側面にマシン油を塗布した場合の遊び δ_0 (シアキーを設けた B, C シリーズのみ), 最大荷重時変形量 δ_{Pmax} を示す。

図—8 $P_{max}/(\pi \cdot \phi \cdot h \cdot \sigma_B)$ と $\phi \cdot h$ の関係

4. 結果についての考察

4.1 平均付着強度と穿孔径, 埋込み深さとの関係について

ここでは、シアキーを設けなくても、ボルト破断までコンクリートが拔出し破壊しないようにする場合、どの程度の穿孔径, 埋込み深さが必要であるかを、Aシリーズの実験結果により検討する。

図—6 に拔出したものについて、 $P_{max}/$ ボルト破断耐力 ${}_B P_U$ と埋込み深さ h /穿孔径 ϕ との関係を示す。コンクリートドリルによる穿孔側面の凹凸状態にばらつきがあるためか、 $P_{max}/{}_B P_U$ にかなりのばらつきがみられる。これを整理してみると、 $P_{max}/{}_B P_U$ はほぼ h/ϕ に関して直線的であるものと、この直線より急激に大きくなっているものとがある。大きくなっているものは目視でも明らかに、ボルト頭付近のセメントモルタルが圧縮滑り破壊しており（表—2 中 P_{max} に * 印を付したもの）、大きくなる理由は、引抜力 T により、圧縮滑り面に沿って、 σ_n, τ が生じる。この両者の水平成分のうち、中心に向かう力は相殺され、外へ向かう力 σ_R が引抜力 T とともに大きくなるので、これが摩擦力となって引抜抵抗力に加算されるからと考えられる。この目視で確認できる圧縮滑り破壊を起こしているものについて、 P_{max} 時のボルト頭の支圧面積 (${}_B A_0$) 当たりの圧縮応力度と、充填セメントモルタル圧縮強度 ${}_f \sigma_B$ との比をみると、この値が約 2.0~2.5 以上である（図—7）。

図—8 に、 P_{max} 時の穿孔側面積 ($\pi \cdot \phi \cdot h$) 当たりの平均付着強度と、母材コンクリートの圧縮強度 σ_B と充填セメントモルタルの圧縮強度 ${}_f \sigma_B$ の小

図—9 P_{max} と δ_{Pmax} の関係

図—10 P_{max} と h, ϕ の関係

さい方（今回の実験では、 $\sigma_B < \sigma_B$ であるので σ_B を用いた）との比 $P_{\max}/(\pi \cdot \phi \cdot h \cdot \sigma_B)$ と、穿孔径 ϕ と埋込み深さ h の積 $\phi \cdot h$ との関係を示す。併せて、ボルトが破断する場合の曲線も示す。

かなり大胆な仮定であるが、目視で確認できる圧縮滑り破壊を起こしているものおよび穿孔側面にマシン油を塗布していないものを除き、平均付着強度が一定（約 $0.11 \sigma_B : \sigma_B$ は母材コンクリートの圧縮強度）であるものとするれば、ボルトが破断するまで、充填モルタルの抜き破壊が起こらないようにするために必要な埋込み深さ h は、 $B P_U \leq 0.11 \pi \cdot \phi \cdot h \cdot \sigma_B$ から $h \geq B P_U / (0.11 \pi \cdot \phi \cdot \sigma_B)$ で求まる。本実験で用いた材料強度と形状のうち、ボルト破断耐力 $B P_U$ は M12 で 5 100 kg, M16 で 9 400 kg, M20 で 12 500 kg, 母材コンクリートの圧縮強度 σ_B は 273 kg/cm², 281 kg/cm², 穿孔径 ϕ は M12 で 2.1 cm, M16 で 2.8 cm, M20 で 3.5 cm の組み合わせでは、埋込み深さ h はボルト径 d の約 19~22 倍以上にせねばならない。また、一般的に使用されているコンクリート ($F_c = \sigma_B = 210$ kg/cm²) とアンカーボルト (ボルト降伏強度: $\sigma_{sy} = 2 400$ kg/cm²) の組み合わせでも、ボルトが降伏するまで抜きさないようにするには、ボルト径 d の約 15 倍埋込む必要があり、現在用いられているあと施工アンカーボルトの約 8~10 倍に比べて大きく、穿孔が困難となり、あまり実用的でない。

さらに、 $P_{\max}$ と $\delta_{P_{\max}}$ の関係を図-9 に示すが、側面の状態により $\delta_{P_{\max}}$ は数 mm にまで及ぶものもあり、変形の制限を受ける設計をする場合には、ばらつきを考慮した許容変形時の荷重と許容引抜荷重の両面から評価しなければならない。

4.2 シアキー1個のせん断強度について

ここでは、シアキーをボルト頭付近に1カ所設けたBシリーズの実験結果から、シアキーのせん断強度を明らかにする。

図-10 に $P_{\max}$ と h , h_0 の関係を示す。 $P_{\max}$ は、同じ形状でも穿孔側面にマシン油を塗布したものはすべて充填部抜き破壊、穿孔側面にマシン油を塗布しないものは錐状破壊、割裂破壊、ボルト破断を示し、穿孔側面の付着抵抗の影響が大きいことが分かる。また、ボルト側面にマシン油を塗布した場合と、しない場合の影響は、錐状破壊、割裂破壊、ボルト破断では明確な差はみられなかったが、抜き破壊のときはマシン油を塗布し

図-11 $P_{\max}/(cA_s \cdot \sigma_B)$ と h の関係

図-12 δ_0 と h の関係

図-13 $P_{\max}$ と $\delta_{P_{\max}}$ の関係

ないものの方が若干大きい。これは、ボルト頭に加わる集中力が、マシン油を塗布した方が大きいと思われる。

充填材凸部がせん断破壊して抜出したもの（穿孔側面にマシン油を塗布したもの）について、 $P_{\max}$ を凸部せん断面積 (cA_s) と充填セメントモルタルの圧縮強度 σ_B で除した値 $P_{\max}/(cA_s \cdot \sigma_B)$ と h の関係を図-11 に示す。この値が 0.3~0.8 で抜き破壊しているが、ボルト側面にマシン油を塗布した場合としない場合は、後者の方がやや大きく、いずれも h とともにほぼ直線的にこの値は大きくなっており、穿孔側面にマシン油を塗布して

も穿孔側面の付着強度はなくなる。シアキー成いだけでストレート穿孔部分のない埋込み深さ（図-11 中右図）から、シアキーのみかけのせん断強度を求めると、ボルト側面にマシン油を塗布した場合、しない場合とも同じ程度で約 $0.2 \sigma_B$ である。

また、ストレート穿孔部分の平均付着強度は、図-10 の二直線のそれぞれの勾配 Δ を求め、 $\Delta/(\pi \cdot \phi)$ で求めることができ、ボルト側面にマシン油を塗布した場合は約 $0.09 \times \sigma_B$ 、ボルト側面にマシン油を塗布しない場合は約 $0.12 \times \sigma_B$ である。これは、A シリーズのシアキーがなく、穿孔側面にマシン油を塗布しボルト側面に塗布していない場合の $P_{\max}/(\pi \cdot \phi \cdot h) \approx 0.11 \sigma_B$ とほぼ同じである。

これから、シアキー付きアンカーの引抜耐力は、ストレート穿孔部分の付着抵抗力とシアキーのせん断抵抗力とを累加したもので現されることが分かる。

本実験は既製の拡幅ドリルを用いたために、シアキー形状 1 種類で行ったが、この形状が異なれば当然応力状態も異なり、せん断強度も異なると考えられる。しかし、シアキー成いが耐力に及ぼす影響が支配的であり、成いが同程度であればせん断強度はそれほど差はないと思われるが、今回の実験のみでは明らかでない。

変形についてであるが、穿孔側面にマシン油を塗布した場合の遊び δ_0 と h の関係を図-12 に示す。 δ_0 は $0.05 \sim 0.2 \text{ mm}$ の範囲でさほど大きくはない。 h についての差はほとんどなく、大きくなると若干小さめかと思われるほどである。ボルト側面の付着状態の影響もほとんどない。

$P_{\max}$ と $\delta_{P_{\max}}$ の関係を図-13 に示す。シアキーを設けない場合（図-9）と比べると、特に拔出し破壊したものについては、同じ h のものでも変形量は半分以下になっており、シアキーの変形抑制効果がよく表れている。

4.3 シアキーの数と引抜抵抗力について

ここでは、シアキーを 2~4 カ所設けた C シリーズの実験結果に、シアキーを 1 個設けた実験結果を加え、シアキーの個数と引抜抵抗力の関係を示す。

図-14(a), (b) に、穿孔側面にマシン油を塗布した場合としない場合について、 $P_{\max}$ と h , h_0 の関係を示す。併せて、前述のシアキー 1 個を設けた場合（B シリーズ）の実験値 ($P_{\max}$) を、材料強度が異なるため補正して図中にプロットした。補正方法は、拔出し破壊したもの

(a) 穿孔側面にマシン油を塗布した場合

(b) 穿孔側面にマシン油を塗布しない場合

図-14 $P_{\max}$ と h , h_0 の関係

のについては、充填材凸部のせん断強度を主に考えたため、(B シリーズの充填セメントモルタルの圧縮強度 σ_B)/(C シリーズの σ_B) を B シリーズの $P_{\max}$ に垂じた。また、錐状、割裂破壊したものは同様に母材コンクリートの圧縮強度 σ_B の比で補正した。ボルト破断したものは補正しなかった。

この図から、穿孔側面にマシン油を塗布した場合で、拔出したものについてはその数は少ないが、シアキー 2 個設けた場合は 1 個の値を 2 倍した値の約 80~90 % の引抜耐力がある。

これは、ボルト頭に大きな引抜力が加わると、深い方のシアキーに大きなせん断力に加わり一様な応力にはならず、しかも、充填材は脆性材料であるため同時に凸部は破壊しないためと考えられる。また、一様にシアキー

にせん断力が作用したとしても、シアキー間の応力が影響しない同じ応力状態にはならない。これは、PCa 構造で、コッタを数個設けた壁板に、せん断力を加えた場合と似ている¹⁾。

穿孔側面にマシン油を塗布しない場合は、一部の複合破壊を除いて、錐状破壊、割裂破壊、ボルト破断しており、その値はシアキー 1 個のものと同様の耐力、破壊形状を示す。

5. 耐力推定式

シアキー付きアンカーの引抜耐力は、図-15 のように変形および破壊形式ごとの引抜抵抗力から決めることができる。設計に使用する場合は、破壊形式ごとにばらつきを考慮して安全率を決め、許容引抜耐力を決めなければならない。今回の実験結果から、破壊形式ごとのばらつきを相関係数で表すと、シアキー無しの場合で拔出し破壊を生じているものは 0.57、シアキー 1 個の場合で拔出し破壊を生じているものは 0.84、錐状破壊を生じているものは 0.97 であったが、これについては、さらにデータを蓄積して明らかにする予定である。また、破壊形式ごとに次のように耐力を推定することができる。

◇ボルト破断耐力 P_{bolt} は、実際に使用する鋼材のボルト耐力を用いる。

◇コンクリートの錐状破壊耐力 cP_{cone} は、先付けアンカーと同様に学会式²⁾、河村式³⁾を使用する。学会式はやや小さめを示す。

$$\cdot \text{学会式 } P_{\text{ai}} = \phi_1 \sqrt{F_c} \cdot A_c, \quad A_c = \pi \cdot l_e (l_e + D)$$

$$\text{ただし, } \phi_1 = 1.0, \quad F_c = \sigma_B, \quad l_e = h_0, \quad D = \phi_d$$

$$\text{河村式 } P_{\text{cone}} = \pi \cdot \sigma_t (0.720 a \cdot h + 0.897 h^2)$$

σ_t : 母材コンクリートの引張強度, a : 定着金物径, h : 埋込み深さ

ただし、これらの式中の h は表面から充填材凸部先端までの距離 h_0 , a は凸部先端の直径 ϕ_d とする。

これらの推定式による $P_{\text{max}}-h$ 曲線は図-10, 14 に示した。

◇充填部拔出し破壊耐力 cP_{bond} については、安全面を考慮し、施工不良状態等を想定した、穿孔側面にマシン油を塗布した場合の実験値を用いて決定する。

シアキー 1 個の耐力を P_{sk1} とすれば、

$$P_{\text{sk1}} = 0.1 \sigma_B \cdot \pi \cdot \phi (h - h_d) + 0.2 f_{\sigma_B} \cdot \pi \cdot \phi \cdot h_d$$

ただし、 σ_B は母材コンクリート圧縮強度、 ϕ は穿孔径、 h は埋込み深さ、 h_d はシアキー成り、 f_{σ_B} は充填セメントモルタルの圧縮強度

シアキー 2 個では拔出し破壊の個数は少なく、ストレー

図-15 シアキー付きアンカーの引抜耐力

ト穿孔部分の付着抵抗力とシアキーのせん断抵抗力とを合計した引抜抵抗力で考え、その耐力を P_{sk2} とすれば、 $P_{\text{sk2}} = P_{\text{sk1}} \times 2 \times 0.8$ とすればよい。

◇母材の割裂破壊耐力では、供試体の大きさが小さいために生じた破壊であり、もう少し供試体が大きければ、この破壊はボルト破断あるいは錐状破壊となると考えられるが、今回は母材は十分大きい場合に限定し除外する。◇複合破壊耐力は今回の実験では、その数も少なく言及しないが、充填部拔出し破壊と錐状破壊の組み合わせを考慮すればよい。

なお、これらの耐力推定式の適用範囲は、基本的には今回の実験範囲である。しかし、範囲を拡張して使用しても差し支えない部分も考慮すれば、アンカーされる側のコンクリート強度は $F_c = 210 \sim 300 \text{ kg/cm}^2$ 程度、充填セメントモルタル強度は市販のものと同程度の $F_c = 400 \sim 500 \text{ kg/cm}^2$ 程度、ボルトは M12～M20、埋込み深さは 5～17 cm が、今回の適用範囲である。

6. まとめ

今回の実験から明らかになったことは、①シアキーを設けないストレートな穿孔でも、頭付ボルトを埋込み、埋込み深さを大きくすれば、ボルト破断までコンクリートが拔出し破壊しないようにすることができる。その埋込み深さ h は、平均付着強度は $0.1 \sigma_B$ として $h \geq \text{ボルト降伏耐力} / (0.1 \sigma_B \cdot \pi \cdot \phi)$ で求めることができる。しかし、最大荷重時変形量は数 mm にまで及ぶものもあり不安定である。②シアキーを孔底部に 1 個設けた場合からは、シアキーのせん断強度は約 $0.2 f_{\sigma_B}$ であり、穿孔側面の平均付着強度はボルト側面の付着状態により若干異なるが $0.09 \sim 0.12 \sigma_B$ 程度である。また、シアキー付きアンカーの引抜抵抗力は、ストレート穿孔部分の付着抵抗力とシアキーのせん断抵抗力が累加でき、 $0.1 \sigma_B \cdot \pi \cdot \phi \cdot (h - h_d) + 0.2 f_{\sigma_B} \cdot \pi \cdot \phi \cdot h_d$ で表される。さらに、シアキーはシアキーを設けない場合と比べると、変形抑制効果を持っている。③シアキーの個数と引抜抵抗力の関係からは、今回の実験ではシアキー 2 個の場合の引抜抵抗力は 1 個の場合の 2 倍の 80～90 % 程度である。

実際の設計に使用できるように、破壊形式ごとの耐力推定式を示したが、鋼材とコンクリートの安全率を考慮する必要があることは当然である。また、引抜力が比較

的確定している長期荷重下では、破壊形式には特にこだわらなくてもよいが、耐力の安定性を考えれば、拔出し破壊よりは錐状破壊、錐状破壊よりはボルト降伏の耐力で設計する方が望ましいし、地震力が作用する場合などは、じん性確保のためにも、ボルト降伏するように設計する方が望ましい。

引用文献

- 1) 河村博之：プレキャスト鉄筋コンクリート構造接合部耐力についての基礎的研究，日本建築学会構造系論文報告集，第 344 号，pp. 25～32，昭和 59 年 10 月
- 2) 日本建築学会：各種合成構造設計指針同解説，昭和 60 年 2 月

- 3) 河村博之：プレキャスト鉄筋コンクリート構造接合部耐力についての基礎的研究，日本建築学会構造系論文報告集，第 353 号，pp. 1～12，昭和 60 年 7 月
- 4) 浜田公也，田中好昌，河村博之：穿孔セメントモルタル充填式あと施工アンカーボルトの応力と耐力について（その 6～8 穿孔側面に凹みを設けた場合の引張実験（1～3），日本建築学会大会学術講演梗概集，pp. 315～320，1989 年 10 月
- 5) 浜田公也，河村博之：穿孔セメントモルタル充填式あと施工アンカーボルトの引抜耐力に（1）穿孔側面の付着応力について，日本建築学会研究報告中国・九州支部，第 8 号，pp. 233～236，平成 2 年 3 月

（1990 年 4 月 10 日原稿受理，1990 年 12 月 10 日採用決定）