

川崎製鉄(株) 正会員 上田為敏
川崎製鉄(株) 正会員 ○岡本勝昭

1. まえがき

最近、製鉄所に於いて、機械基礎の改造補修に施工の急速性を利用した穿孔ボルトが数多く使用されている。構造物、機械・設備類等を、コンクリート基礎に穿孔し接着剤を使って、あと付けする穿孔ボルトに対し、ボルト設計耐力(ボルト径 $\phi 30 \sim \phi 90$)を決めるために、各種の実験を行い考察を行ったので、ここに報告するものである。

2. 実験の種類と方法

(1) 実験方法 充填材には、エポキシ樹脂および樹脂モルタルを使用し荷重としては、センターホールジャッキにて載荷し、ジャッキ反力は桁組を行いコンクリート破壊の影響外に作用させる。計測項目は、載荷々重・ボルト頭部変位・ひずみとし、載荷々重はロードセル、変位はダイヤルゲージ、ひずみはひずみゲージで測定し、各荷重ごとに自動記録させる。室内試験はアムスラー万能試験機で載荷し、破壊荷重を測定する。

(2) 実験の種類

ボルト種類、径、長さの違いが耐力にどの程度影響するかを、実験により求める。よって、これを満足するような実験の種類を表-1に示す。なお、この現場実験を行う前に、充填材の付着力と穿孔長・穿孔径の関係も求めるための室内試験を行う。この室内試験は、付着力を把握するためのもので、ボルト破断ではなくボルト引抜けとなるように、ボルト埋込長(1cm, 2cm, 4cm)を小さくしたり、充填材に低強度なものを使用する。

3. 実験結果および考察

(1) 充填材の付着(室内試験)

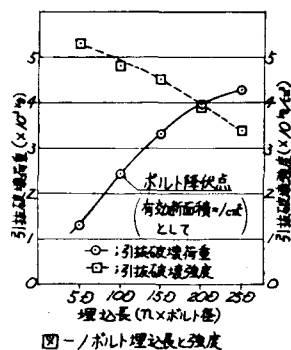


図-1 ボルト埋込長と強度

試験結果より求め

た充填材の付着力と穿孔長・穿孔径の関係図を、図-1、図-2に示す。ボルト埋込長が短い時(2cmまで)は、E200及びE200樹脂モルタルのいずれも、穿孔径が大きくなるに従ってボルト引抜強度は低下しており、明らかに寸法効果(樹脂の歪)がある。穿孔ボルト長の増加に伴い単位面積当りの引抜強度は低下する。ボルト埋込長と引抜強度の関係をみると、ボルト自身の降伏強度以内で引抜破壊する場合、比較的比例した関係($y = ax$, y :破壊荷重, x :埋込長), またボ

表-1 実験結果の一覧表

試験番号	穿孔ボルトの仕様			極限破壊		コンクリート破壊		
	種類	ボルト径 (mm)	穿孔径 (mm)	穿孔長 (mm)	荷重 (ton)	ボルト破断状況	荷重 (ton)	ボルト破断状況
1	全ネジ切	$\phi 30$	$\phi 52^2$	300	23 ⁶	4920 ねじ部破断	14 ⁹ 15 ⁹	3180 破壊角45° 深さ4cm 円錐状
2	丸鋼	"	"	"	21 ⁶	2720 ボルト引抜け	21 ⁶	2720 深さ2cm 表面破壊
3	異形鉄筋	"	"	"	36 ⁶	6130 ねじ部破断	27 ⁶ 28 ⁶	3590 破壊角45° 深さ4cm 円錐状
4	全ネジ切	"	"	"	23 ⁶	4450 ボルト破断	14 ⁹ 15 ⁹	2830 破壊角45° 深さ4cm 円錐状
5	"	"	$\phi 63^2$	"	30 ⁶	5170	14 ⁹ 15 ⁹	3390 破壊角45° 深さ4cm 円錐状
6	"	"	$\phi 88^2$	"	23 ⁶	4410	14 ⁹ 15 ⁹	2830 破壊角45° 深さ4cm 円錐状
7	"	"	$\phi 52^2$	450	22 ⁶	2240	14 ⁹ 15 ⁹	2740 破壊角45° 深さ4cm 円錐状
8	"	"	"	150	11 ⁹	4450 ボルト引抜け	11 ⁹ 15 ⁹	3010 破壊角45° 深さ12cm 円錐状
9	"	"	"	300	23 ⁶	4180 ボルト破断	14 ⁹ 15 ⁹	2640 破壊角45° 深さ4cm 円錐状
10	"	$\phi 90$	$\phi 160$	900	222 ⁶	4220 ボルト引抜け	140 ⁹ 150 ⁹	2650 破壊角45° 深さ16cm 円錐状
11	"	"	"	1350	227 ⁶	4310	140 ⁹ 150 ⁹	2840 破壊角45° 深さ17cm 円錐状
12	"	"	"	"	"	"	140 ⁹ 150 ⁹	3030 破壊角45° 深さ5cm 円錐状

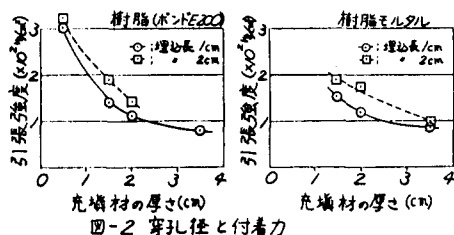


図-2 穿孔径と付着力

ルト降伏強度以上で破壊する場合は、 $\sigma = \alpha \sqrt{f_c}$ に類した関係が見られた。

(2) ボルトの種類 (現場実験) 全ネジ切が異形鉄筋を使用した穿孔ボルトは、ボルト応力度が同程度の時に、コンクリート破壊を生じ、ボルト材質の違いによって、極限荷重が決っており大差ない性能となっている。丸鋼はボルト応力度が小さい時に、ボルトが引抜けており、埋込長を大きくするか先端部にフックをつける等の工夫が必要である。(表-1 参照)

(3) 穿孔ボルト耐力 (現場実験)

ボルトの種類は全ネジ切とし、実験結果を表-1、ひずみ値から算出した付着力とせん断力の関係を図-3に示す。ボルト径 $\phi 30$ の場合、穿孔径によるボルト耐力の差は見られなく、 $\phi 90$ ボルトは、施工上よりの最小孔径が 160mm であったが、充填材の破壊となっており、充填材の付着力と穿孔径の関係 (室内試験) も考慮すると、穿孔径を大きくし、充填材の断面を増加させても樹脂歪が生じ樹脂の破壊となる。よって穿孔径については、施工上可能なかぎり小さくして、充填材の量を少なくするのが経済的と思われる。

穿孔長は充填材の付着力とともに、ボルト耐力の決定に大きな要因となりボルト耐力の算定式にはこれを考慮した。コンクリートの破壊荷重 $\times$ ボルトの破壊荷重又は付着力、となる時の穿孔ボルトの破壊機構は、1次破壊 (コンクリート破壊)、2次破壊 (ボルト破断・引抜) に分けられる。1次破壊は最大せん断の表われる面におけるコンクリートの破壊であり順次進行する。ボルト耐力として問題となる2次破壊の破壊荷重は、コンクリートの最終破壊面より下の付着力とボルトの破壊荷重の小さい方であるから、ボルト耐力の算定式は " $S_{max} = \min \{ (l - x_2) \pi d M_{max}, N_d \}$ " と考えた。(図-4 参照) x_2 は付着力とせん断力の接点から、コンクリート表面までの値となり、実験値から、 $\phi 30$ ボルトで $x_2 = 7\text{cm}$ 、 $\phi 90$ ボルトで $x_2 = 20\text{cm}$ であった。 M_{max} は、充填材やボルトの種類、穿孔長および穿孔径により影響され、穿孔長と穿孔径が大きくなれば、小さくなると考えられる。このため、規準 M_{max} を決め、穿孔長・穿孔径の変化による M_{max} の変動を係数 $\alpha \cdot \beta$ で表わす。すなわち次式による、" $M_{max} = \alpha \times \beta \times \text{規準 } M_{max}$ " 規準 M_{max} は、実験結果より、 $\phi 30$ ボルトで規準 $M_{max} = 160\text{kg/cm}^2$ 、 $\phi 90$ ボルトで規準 $M_{max} = 100\text{kg/cm}^2$ であった。又係数 $\alpha \cdot \beta$ は、充填材の付着力と穿孔長および穿孔径の関係より求めた。そして、穿孔ボルトの理論耐力を計算し、実験値との比較を表-2に行った。

4 あとがき

ボルトの種類、ボルト径、穿孔長をかえて行った試験より、穿孔ボルトの破壊の概要および概略のボルト耐力算定方法が理解された。今後の検討課題としては、穿孔ボルトの疲労耐力強度等を研究してゆきたい。

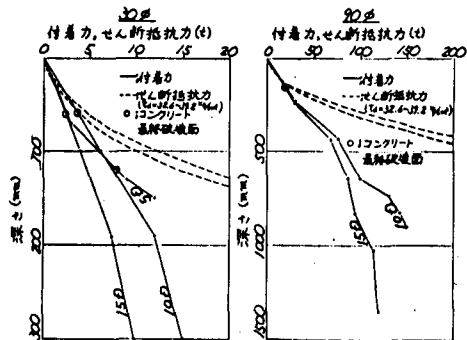


図-3 付着力～せん断力関係図 (1次破壊時)

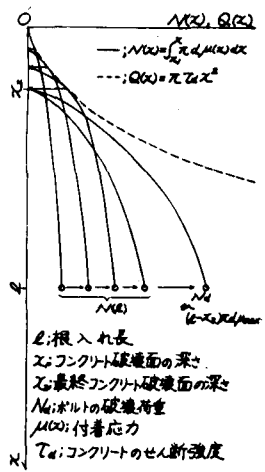


図-4 破壊過程

表-2 ボルト耐力の比較

試験番号	N01	N04	N05	N06	N07	N08	N09	N10	N11
ボルト径(mm)	30	30	30	30	30	30	30	90	90
埋込長(埋込穴径)	100	100	100	100	150	50	100	100	150
l (cm)	30	30	30	30	45	15	30	90	135
x_2 (cm)	7	7	7	7	7	7	7	7	7
d (cm)	3	3	3	3	3	3	3	3	3
M_{max} (kg)	139	139	100	72	120	160	139	100	72
(l-x_2) M_{max}	3000	3000	2100	1500	2200	2200	2200	2200	2200
N_d (kg)	2200	2200	2100	1500	2200	2200	2200	2200	2200
S_{max} (kg)	2200	2200	2100	1500	2200	2200	2200	2200	2200
実測値 (kg)	2120	2120	2100	1500	2200	2200	2200	2200	2200

※ ボルト破壊状態がボルト引抜けとなる場合