

抄 録

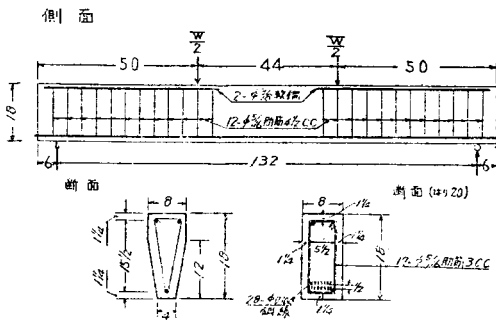
UDC 624.072 : 624.012.4

鉄筋コンクリートはりの強度及び安全率

K.Hajnal-Kónyi: Reinforcing Steel in Concrete & the Concept of Safety, Journal of A.C.I. Mar. 1952

1. はし が き

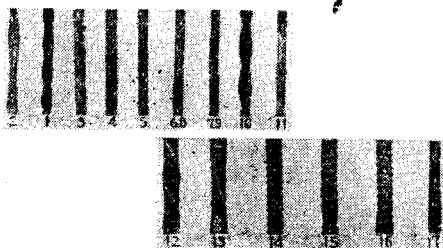
図-1 はり寸法 (寸法単位: in)



この論文は図-1 に示す構造の合計 38 本の鉄筋コンクリートはりに 2 点荷重を加え、破壊に至るまでの間のコンクリートの歪及びはりの撓みを、スパン中央のはりの両側面に水平に設置した 9 個ずつの標点距離 10" の歪計及びはり下面のダイヤルマイクロメーターによつて測定し、その結果について述べたものである。

鉄筋は直径が 0.71~1.25" の 17 種の普通の降伏点をもつもの及び冷間加工を加えたものを用いた (図-2 参照)。

図-2 鉄筋



コンクリートは 3,000 psi (L) と 6,000 psi (H) との 2 種の 6" の立方体供試体強度をもつものを用いた。はり 20 は図-1 の矩形断面で、鉄筋として 268,800 psi の引張強度をもつ鋼線を用いたものである。

2. はりの撓み、亀裂及び歪

図-3 荷重-撓み曲線

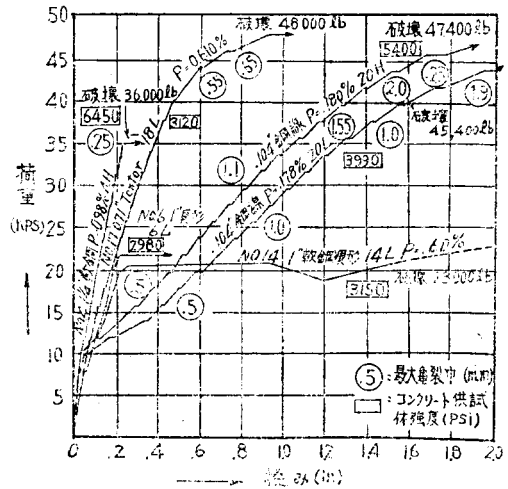


図-3 は代表的なはりの荷重-亀裂巾-撓み曲線である。ここで鉄筋比が 0.18% で非常に少ないはり 20 L は 8,000 lb, 20 H は 10,000 lb に荷重が達するまで亀裂を生ずることなく、破壊時には亀裂が分散しその最大巾が約 2 mm であったことが注目される。表-1 に、はりの亀裂巾が 0.25 mm になった時の鉄筋の推定応力度を示してある。

これによると、径の大きい鉄筋を数少なく用いるよりも、径の小さい鉄筋を数多く用いる方が、亀裂を小さくするために有利なことが注目される。

表-1 亀裂巾が 0.25 mm に達したときの鉄筋応力度

	鉄筋	応力度 (psi)
(a)	No.4 1 1/4" 軟鋼丸棒	27,900~44,800*
	No.10 3/4" 丸鋼2本撚り	33,100~38,200
	No.5 1 1/8" 高強度鋼	35,400~42,800
	No.3 7/8" 角鋼撚り	37,600~52,000
	No.6 1" 異形(アメリカ)	42,300~49,700
(b)	No.17 0.71" Tantor	46,900~62,500
(c)	0.4" 硬引鋼線(平滑面)	51,600~55,900
	" " " (腐蝕面)	57,800~73,500
(d)	0.104" 鋼線	74,900~81,600

* コンクリート供試体強度 = 6,400 psi

** " " " = 6,200 psi

3. Whitney 理論の適用

はりの中立軸位置の実測値 (x_m) と、Whitney の理論 (P) 及び Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI 318-51) による弾性理

論 (n) による計算値との比較及びこれらの理論による破壊時における鉄筋及びコンクリートの応力度をそ

れぞれ t 及び c で表-2 に表わしてある。Whitney 理論によるコンクリートの応力度 (c_p) を、はり 1~

表-2 計算と実測によるはりの中立軸位置の比較

はり番号	12 L	12 H	14 L	14 H	19 L	19 H	20 L	20 H
鉄筋	No.14. 1'' 異形燃り		No.14. 1'' 軟鋼異形 アリメカ		No.17 0.71'' Tentor		0.104'' 鋼線	
ρ (%)	0.565	0.570	0.607	0.609	0.914	0.936	0.178	0.180
d (%)	16.150	16.000	16.050	16.000	16.440	16.040	16.750	16.500
M/bd^2c_p	0.170	0.125	0.107	0.073	0.285	0.219	0.172	0.136
x_m (")	3.250	2.900	2.500	1.650	6.500	4.550	4.000	3.030
x_p (")	3.040	2.140	1.830	1.220	5.660	4.010	3.180	2.440
x_n (")	4.960	3.680	5.070	3.780	6.100	4.560	3.120	2.260
x_p/x_m	0.935	0.738	0.732	0.739	0.872	0.880	0.795	0.805
x_n/x_m	1.526	1.269	2.028	2.291	0.938	1.002	0.780	0.746
t_p (psi)	81 700	85 900	44 800	44 100	92 300	95 400	284 400	294 200
t_n (psi)	82 400	86 800	47 200	46 000	87 200	92 300	274 400	285 500
c_n (psi)	3 030	4 300	1 820	2 370	4 300	6 080	5 230	7 520
$(d-a_p)/x_m = x_p/2x_m$	0.457	0.369	0.361	0.370	0.436	0.440	0.397	0.402

11 及び 20 では立方体供試体強度の $2/3$, 12 L~19 L では 0.76, 12 H~19 H では 0.64 と仮定した。表-2 によると, $x_p < x_m < x_n$ の関係があり, x_p/x_m は 0.732~0.935 であつて, 測定精度からみて理論と実験とがよく一致するものとみなすことができる。しかし x_n/x_m は 0.746~2.291 と大きな変化を示しており, これは標準方法が中立軸の位置を決定する際に鉄筋量及び鉄筋とコンクリートとの弾性係数比だけを考へ, 鉄筋の応力の影響を無視しているからである。コンクリートの応力度 (c_n) は 1 820~5 230 psi (L), 2 370~7 520 psi (H)でその変化が大きく, はり 20 H では c_n が供試体強度の 1.39 倍すなわち円柱供試体

強度に換算すればその 1.5 倍以上のときに鋼線の破断により破壊した。この傾向は鉄筋比の大きい, すなわち破壊時の鉄筋応力の小さいはりにも認められた。

Whitney 理論による $x_p/2x_m$ は 0.361~0.467 で理論値 0.333~0.500 の間にあり, 鉄筋の性質に関係なしに全測定を通じてこの理論の正当性が証明され, 既知の鋼及びコンクリートを用いたはりの最終曲げ強度を推定する適当かつ安全な方法であることがわかつた。

これと反対に標準方法にはつぎの諸欠陥が認められる。(1) 円柱強度より 40~75% 大きなコンクリートの曲げ強度を仮定しなければ, 過剰な鉄筋を用いた

表-3 はりの破壊時における標準方法による鉄筋応力度及び安全率

はり番号	鉄筋	t_p (psi)		t_p/f_u		t_n (psi)		安全率		L 2.426	H 2.426
		L	H	L	H	L	H	L	H		
(a) 普通の降伏点をもつ鉄筋											
4	No.4 1 1/4'' 軟鋼	42 800	42 500	0.656	0.636	43 700	44 800	2.426	2.487	1.000	1.025
5	No.5 1 1/8'' 高強度鋼	56 200	55 500	0.611	0.605	57 000	57 600	2.848	2.880	1.174	1.187
14	No.14 1'' 異形	44 800	44 100	0.665	0.667	47 200	46 000	2.624	2.556	1.082	1.054
(b) 冷間加工鉄筋											
7	No.7 1'' 軟鋼異形燃り	63 400	72 600	0.896	0.923	63 800	74 500	3.191	3.724	1.315	1.535
10	No.10 3/4'' 2本燃り	66 400	65 500	0.915	0.946	67 200	67 500	3.361	3.377	1.385	1.392
17	No.17 0.71'' Tentor	92 400	—	0.937	—	94 000	—	4.697	—	1.936	—

はりの曲げ強度を説明できない。(2)高強度鋼を用いるときは根本的に改めなければならない。(3)弾性係数比にある係数を乗ずるのでなければ、圧縮鉄筋の効率を説明できない。

4. ACI Building Code による安全率

表—3 に標準方法によるはりの曲げ破壊に対する安全率を Whitney 理論を基準として計算してある。鉄筋の破壊時の応力 (t_p) と最終強度 (f_u) との比は、普通の降伏点をもつものでは 60~70% であるが、冷間加工した鉄筋は 100% に近い。安全率の比較を容易にするため各はりの安全率を更に 2.426 で割った値を示してある。

これによると (a) 群では最大値が 1.187 で許容範囲内にあるが、(b) 群は 1.385~1.936 であつて、ACI Code は普通の降伏点をもつ鉄筋に比して、冷間加工した鋼を用いたはりにたいして高過ぎる安全率を要求している。

5. 安全性に関する一般的考察

はりの破壊モーメントを許容モーメントで割った安全率は、それだけでははりの安全性を示す十分な尺度とはならず、更に破壊に至るまでの過程も考慮しなければならない。破壊の形式として次の 3 種類が考えられる。(a) 前兆なしに突然に生ずるもの。(b) 最大荷重に達した後、荷重が増加しないのに変化が進み破壊に至るもの。(c) 破壊が迫つた際にも更に荷重及び変形の増加をともなつて漸進的に破壊に至るもの。

(a) は鑄鉄または軟鋼で補強したコンクリート柱及び過剰または過少な鉄筋を用いたはりに現われる。

(b) は普通の降伏点をもつ鋼で補強したコンクリートはりの特有な形であり、冷間加工鉄筋を用いたはりは (c) の破壊形式を示す。図—2 のはり 4H, 6L, 14L は (b) を、20L, 20H は (c) を代表する。

6. 結 論

1. 異形鉄筋は、亀裂の発生を防止する点において、普通鉄筋より優れている。
2. Whitney 理論は鋼の性質に関係なくはりの計算に適用できるが、標準方法は非常に高強度の鋼にたいしては不適當である。
3. 普通の降伏点をもつ鋼は $f_c' = 5000$ psi のコンクリートを用いても最終強度の 70% を超えて利用することはできないが、表面に適當な凹凸のある冷間加工した直径 1" の鉄筋は $f_c' = 2500$ psi のコンクリート中でもその最終強度の少なくとも 85% の強度を発揮できる。
4. 破壊前の兆候からみて、冷間加工鉄筋は普通の降伏点を持つものより優れている。
5. 高い付着強度を許すためには高強度の鋼が必要である。鉄筋として軟鋼を用いる場合、強いコンクリートまたは異形鉄筋を用いて許容付着応力度を増加すれば、破壊の兆候を示すはりの亀裂が認められぬ時に、急に破壊が生ずるかも知れない。
6. 高強度鋼を用いて経済的な設計をするためには、許容応力の考え方ではなく、最終強度に基づき合理的な安全率を考えた設計法を採用しなければならない。(国鉄特殊設計課 田村浩一)

建設省府県関係人事移動行わる (順不同)

氏名	新任	旧任	氏名	新任	舊任
米田 正文	建設省河川局長	近畿地方建設局長	村本 順治	埼玉県道路課長	山形県道路課長
稲垣 茂樹	近畿地方建設局長	九州地方建設局長	別所 正夫	秋田県道路課長	和歌山県計画課長
伊藤 剛	九州地方建設局長	河川局治水課長	榛葉 朗	大分県道路課長	石川県計画課長
山本 三郎	河川局治水課長	河川局利水課長	松井 貢介	石川県計画課長	徳島県計画課長
小池 誉	河川局利水課長	北海道開発庁道政課長	工藤 延雄	和歌山県計画課長	兵庫県技師
酒井 信男	北海道開発庁道政課長	河川局防災課技官	尾関 太郎	徳島県計画課長	愛知県技師
松田勘次郎	埼玉県土木部長	群馬県土木部長	田島 密	大分県計画課長	鹿児島県技師
高野 宗久	群馬県土木部長	埼玉県土木部長	島山 実	静岡県道路課長	大分県道路課長
目黒 清雄	電源開発公社顧問	建設省河川局長	綾 亀一	退職	静岡県道路課長
羽田 巖	奈良県土木部長	埼玉県道路課長	田村 雄次	退職	大分県計画課長