

日米の設計規準により評価したRC・PCはりのせん断耐力の比較

住友建設	技術研究所	正会員	梅津	健司
住友建設	PC設計部		平	喜彦
同	上	正会員	益子	博志
住友建設	技術研究所		高木	康宏
同	上	正会員	藤田	学

1. はじめに

各国の設計規準は、コンクリート棒部材の設計せん断耐力式を独自に定めている。我が国の土木学会コンクリート標準示方書¹⁾では、圧縮斜材角度を45度としたトラス理論を基礎とし、コンクリートの負担するせん断力は実験式に拠っている。日本建築学会RC耐震設計指針²⁾は、トラス機構強度の他にコンクリートの負担せん断力としてアーチ機構強度を考慮している。米国コンクリート工学協会(ACI)は、斜材角45度の平行弦トラスモデルを基礎とし、実験に基づいた式を用いている³⁾。米国のAASHTOは、1994年より部分安全係数法による限界状態設計法を用いた設計基準LRFD⁴⁾に移行してきており、そこでは修正圧縮場理論に基づいたせん断設計を採用している。各規準の設計式は、制定経緯や設計思想、理論的背景が様々であるため、各規準式に従って同一条件下の部材のせん断耐力を算定しても、それらの値は相互に同一になるとは限らない。

筆者らは、断面T形の大型RC・PC単純はり6体について、静的載荷実験を実施し、主たる引張鋼材に付着のあるはりが斜め引張破壊、付着のないはり（アンボンドまたは外ケーブルを配置したもの）が曲げ破壊する結果を得て、耐荷機構がもたらす破壊性状への影響について検討した^{5)、6)}。本稿では、そのうち斜め引張破壊した内ケーブル配置はり3体について、各規準に従ってせん断耐力を算定し、計算値と実験値を比較し、それぞれの設計規準式の特徴について考察するものである。

2. 実験の概要

はり供試体の形状寸法を図-1に、諸元を表-1に示す。せん断支間長($a = 3.2\text{m}$)と有効高さ($d = 0.8\text{m}$)の比(a/d)は4.0である。内ケーブルとして7S12.7Bを配置し、シース内にセメントペーストグラウトを充填し、コンクリートと付着のある構造とした。せん断支間にスタ

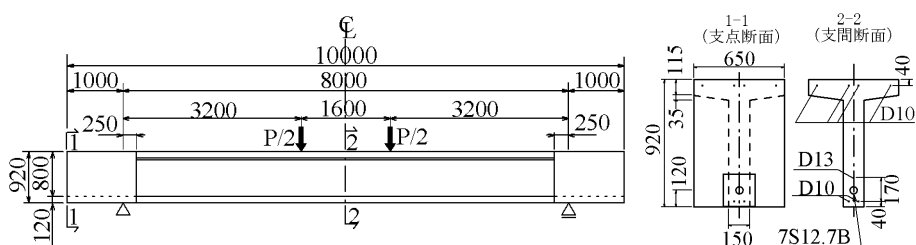


図 - 1 供試体の形状寸法、PC鋼材配置

ーラップは配置していない。鉄筋配置の詳細や鋼材の材料物性については論文⁶⁾を参照されたい。

載荷は静的単調に、最初に曲げひび割れ発生まで行って一旦除荷し、その後破壊するまで漸増させて行った。荷重と支間中央のたわみの関係を図-2に示す。IN-1は、斜めひび割れ発生後に強固なタイドアーチ機構を発揮し、3供試体中最も破壊荷重が高かった。IN-2は、斜めひび割れが発生してもすぐ壊れることはなかったが、少し荷重を上昇させたところで破壊した。IN-3は、斜めひび割れが急速に上フランジまで到達した時点で、荷重が低下し、その後載荷を継続しようとしたところで破壊した。最終ひび割れ状況を図-3に示す。

表 - 1 供試体のプレストレス力とコンクリートの強度

供試体 記号	有効 プレストレス力 (kN)	コンクリート		
		圧縮強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	弾性係数 (N/mm ²)
IN-1	229	45.8	3.32	37230
IN-2	83	50.6	3.16	37300
IN-3	0	48.0	3.41	35930

キーワード：せん断耐力、プレストレスコンクリート、トラス理論、修正圧縮場理論

〒329-0432 栃木県河内郡南河内町仁良川1726 TEL 0285-48-2611 FAX 0285-48-2655

3. 各規準によるせん断耐力

表-2に実験値と各規準を用いて算定したせん断耐力との比較を示す。ここに実験値における斜めひび割れ発生荷重とは、斜めひび割れが顕著に進展したときの荷重であり、これは荷重-たわみ曲線(図-2)における荷重の落下時に符号しているものである。

土木学会(JSCE)式¹⁾による値は、Mdに斜めひび割れ発生時のせん断支間(a)中央における曲げモーメント実験値を代入して算定した。

日本建築学会のRC耐震設計指針式²⁾を、式(1)に示す。

$$V_u = b j_t p_w \sigma_{wy} \cot \phi + \tan \theta (1 - \beta) b D v \sigma_B / 2 \quad (1)$$

ACI³⁾による値は、式(2)、(3)に拠った。f'cの単位はpsiである。

$$\text{プレストレスト部材} : V_c = 0.6 \sqrt{f'_c} b_w d + V_d + V_i M_{cr} / M_{\max} \quad (2)$$

$$\text{ノンプレストレスト部材} : V_c = (1.9 \sqrt{f'_c} + 2500 \rho_w V_u d / M_u) b_w d \quad (3)$$

AASHTO LRFD⁴⁾における修正圧縮場理論による値は、設計フローにおいてβ、θ、Vu、Vcが収束するまで、繰返し計算を行った結果である。ただし本検討では実験値と比較するため、いずれの規準式においても安全係数や耐力低減係数は1.0を用いて算定した。

JSCE式およびAASHTO式による値は、供試体のプレストレス導入に伴いせん断耐力が増加する現象を再現できている。また同式は、斜めひび割れ発生荷重Vcrに対しても安全側評価を与えているが、部材において顕著な斜めひび割れが発生した後では、もはや供用は望めないことや、プレストレスレベルの低い供試体では斜めひび割れ発生後の耐力増加が少ないこと、プレストレスレベルによってせん断耐力が大きく変化することを考え併せれば、これらの式による設計値は概ね妥当と考えられる。

建築学会式は、プレストレス力の効果を反映していないが、2)の解説は軸力の効果を考慮した実用せん断設計手法についても言及している。建築

学会式によるIN-2、IN-3における設計値が実験値Vuより危険側評価となったのは、式(1)の第二項がアーチ機構強度であり、本はりでは、タイドアーチが十分に形成される前に破壊に至ったためと推察される。

4. まとめ

同一供試体について日米の設計せん断耐力式を用いて試算し、比較した。その結果、スターラップを配置していない本供試体はりにおいて、JSCE式およびAASHTO式による算定値は、斜めひび割れ発生荷重の実験値に対して安全側でかつ比較的近い値を与える結果となった。ただし、各国の設計規準にはそれぞれの設計思想や理論的背景があり、相互比較の際にはそれらを踏まえて設計値を捉えることが必要である。

参考文献

- 1)土木学会：コンクリート標準示方書（平成8年制定）設計編、1996.3
- 2)日本建築学会：鉄筋コンクリート造建物の終局強度型耐震設計指針・同解説、1990.11
- 3)American Concrete Institute：Building Code Requirements for Structural Concrete(ACI318-95)，1995
- 4)American Association of State Highway and Transportation Officials：AASHTO LRFD Bridge Design Specifications，2nd Ed.，1998
- 5)平喜彦・藤田学・梅津健司・益子博志：外ケーブルPCはりのせん断耐力に関する実験的研究、プレストレストコンクリート技術協会第9回シンポジウム論文集、pp.547-552、1999.10
- 6)高木康宏ほか：内・外ケーブル方式PC単純はりのせん断耐荷特性、コンクリート工学年次論文報告集Vol.22、投稿中、2000.6

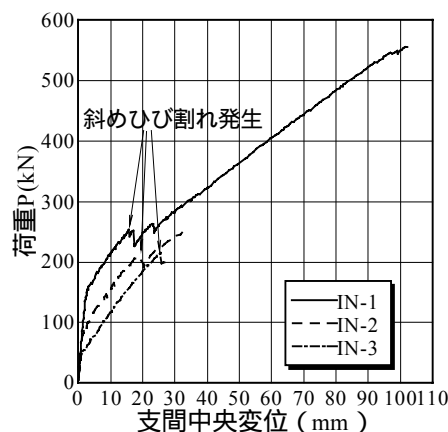


図-2 荷重Pと支間中央たわみの関係

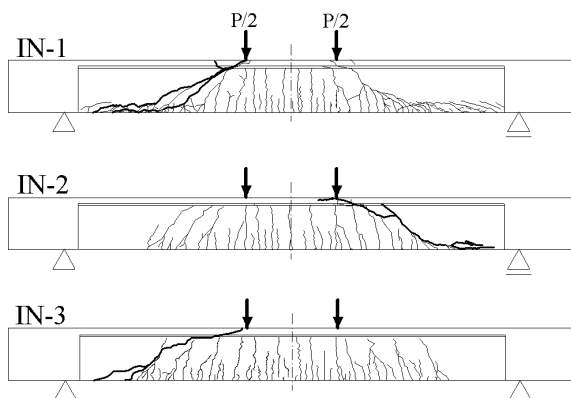


図-3 最終ひび割れ状況

表-2 せん断耐力実験値と各規準によるせん断耐力
単位：kN

供試体 記号	せん断耐力実験値		せん断耐力計算値			
	斜めひび割れ 発生時 Vcr	斜め引張 破壊時 Vu	JSCE	建築 学会	ACI 318-95	AASHTO LRFD
IN-1	142.2	293.2	136	181	188	126
IN-2	127.7	139.2	109	190	138	101
IN-3	122.2	122.2	86	186	148	87