

[124] 多点載荷されるせん断補強鉄筋のないRCばりのせん断強度

正会員 ○小林 茂 敏 (建設省土木研究所)

正会員 森 濱 和 正 (建設省土木研究所)

高 橋 正 志 (建設省土木研究所)

1. はじめに

昭和55年土木学会コンクリート標準示方書および道路協会道路橋示方書においてコンクリートの許容せん断応力度の改訂が行われ、はり状の構造物においては従来の約60%に、また版状の構造物にあつては約1/2に低減された。フーチング、カルバート、擁壁等のせん断補強鉄筋のない版状の構造物にあつては、改訂された許容応力度を用いると断面厚さが2倍近くなるものもあり、従来からこの種の構造物にはせん断破壊と思われる損傷の発生事例が見られなかったこともあつて、実務者に対しその必要性をとくにはなはだ説得力を欠いた。実験結果を見るとせん断支間の長い構造物においては改訂された許容応力度程度のもを用いるのが妥当と考えられるのに実際には問題ないのは、土構造物は支間長に比べて厚さが比較的大きいこと、荷重が分布していることなどのために、せん断強度がせん断支間の長いはりの例から予測されるものよりも大きくなっているからであると考えられる。したがつて、許容応力度の変更を行うならばせん断強度の照査方法も併せて変更すべきであるとする。

せん断支間の大小をせん断強度に反映させる方法の例には次のようなものがある。

- (1) せん断支間比により許容応力度を割増す。(道路橋示方書下部構造編)⁴⁾
- (2) 部材の最大モーメント、せん断力比によって許容応力度を割増す。(大野, 荒川式等)³⁾
- (3) 荷重の位置によって、荷重を低減してせん断力を計算する。(CEB等)
- (4) 照査位置によりせん断力を低減して計算する。(土木学会コンクリート構造の限界状態設計法指針(案))⁵⁾

各方法ともせん断支間の効果は、荷重の分布や使用している補正式ごとに異なるので、合理的でかつ有利なものを選んで使用すべきであると考えられるが、いずれの方式も分布荷重や多点荷重に対しては、比較的少ない実験値によってしか確かめられていないので、各方式の適合性や有利性を単純ばり、張出しばり、変断面張出しばりに多点載荷実験を行つて考察した。

2. 実験方法

載荷実験を行つた供試体シリーズは、図-1に示すように断面20×28cm、横ブシのSD35の鉄筋を配置(鉄筋比 $p = 1.16\%$)した同一断面のはりで単純ばり式載荷したシリーズAと片持ちばりの場合を想定した張出しばり式載荷したシリーズB、横ブシのSD35の鉄筋を配置し断面20×40~20×16cm($p = 1.19 \sim 3.58\%$)と断面の変化する張出しばりに載荷をしたシリーズCの3種類である。コンクリートの実験時の圧縮強度は239kg/cm²(シリーズA)および279kg/cm²(シリーズB, シリー

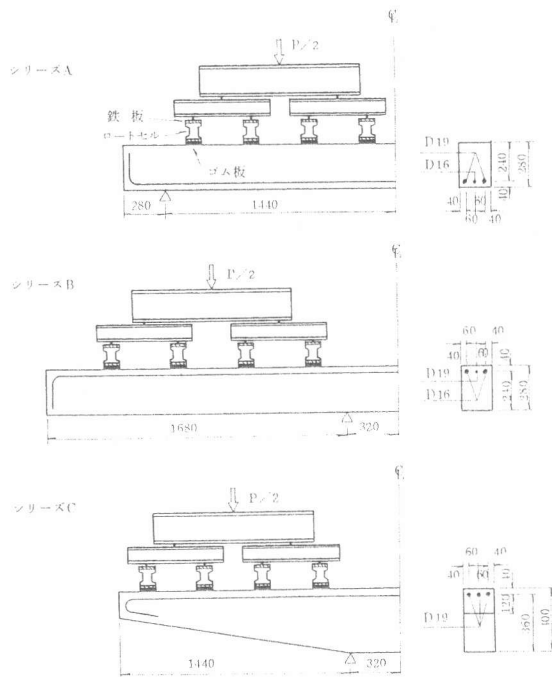


図-1 供試体の概要および載荷方法

C) であった。

荷重は表-1に示すように1点(I), 2点(II), 4点荷重とし、4点荷重の場合には等分布(III), 支点側で大きくなる三角形分布(IV), 支点側で小さくなる三角形分布(V)とした。せん断支間比は、支点から荷重の重心位置(最大曲げモーメントMと最大せん断力Qとの比M/Q)までの距離とはりの有効高さの比(シリーズCの場合は、支点上の断面の有効高さ) a/d で示した。荷重方法は図-1に示すように、荷重桁で荷重を配分し、補助桁で荷重を分布させた。また、各荷重点にはロードセルを取付け、各荷重点の荷重を測定した。

3. 実験結果

各供試体のひびわれ荷重、破壊荷重、ひびわれ状況等の詳細は紙面の都合で省略するので詳しくは文献1)を参照されたいが、せん断ひびわれ発生時のひびわれのタイプを表-2に、破壊のタイプを表-3に示す。

ひびわれ発生時の供試体せん断応力度(支点)の測定結果とせん断支間比(荷重の測定値は計画と必ずしも一致しないので測定値から計算した)の関係を図-2、破壊時せん断応力度(支点)とせん断支間比の関係を図-3に示す。

4. 結果に対する考察

4.1 ひびわれ強度

Bシリーズ $a/d = 3.5$ の多点荷重した供試体以外はすべて表-2に示すようなタイプのせん断ひびわれが発生したが、ひびわれ発生時のせん断応力度はAシリーズ(単純ばり)とBシリーズ(張出しばり)とでは傾向が異なり、Aシリーズでは荷重が分散するにつれて同じせん断支間比でもひびわれ強度が大きくなるのに対してBシリーズでは1点荷重の場合と強度がほとんど変化しない。この違いはAシリーズにおいては、せん断力最大の部分において、モーメントが0であるのに対してBシリーズではせん断力最大の位置においてモーメント最大であるため、せん断ひびわれは荷重の比較的小さい時点から曲げひびわれの延長として生じ易いからと思われる。

図-2には大野・荒川式、岡村・松貝式によるせん断ひびわれ強度の計算結果を記入した。また、せん断支間比が2.0より大きい1点荷重の実験の強度の平均値を特性値として、道路橋示方書の方法によって強度の割増しを行った場合の線も記入した。

かつて筆者らはAシリーズのデータに基づいて多点荷重の場合でも、荷重の重心と支点の距離をせん断支間として道路橋示方書の方法で強度の割増しを行っても十分余裕のあることを述べたが²⁾、フーチングのような片持ちばり構造の場合には、この割増し方式によるせん断ひびわれ強度の割増し率は(せん断支間比1.0以上の場合)実験値と同程度のものであると言えよう。

なお、岡村・松貝式⁵⁾は多点荷重に適用を拡大しても張出しばりを用いた実験結果によく一致し、大野・荒川式³⁾は、

表-1 荷重の種類

荷重の種類	供試体のシリーズ	せん断支間比(M/Q) $\cdot d = a/d$ (3)								
		0.5	1.0	1.15	1.5	1.75	2.0	2.25	3.0	3.5
I	A	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	B	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	C	○	○	○	○	○	○	○	○	○
II	A	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	B	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	C ²⁾	○	○	○	○	○	○	○	○	○
III	A	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	B	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	C ²⁾	○	○	○	○	○	○	○	○	○
IV	A	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	B	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	C ²⁾	○	○	○	○	○	○	○	○	○
V	A	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	B	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	C ²⁾	○	○	○	○	○	○	○	○	○

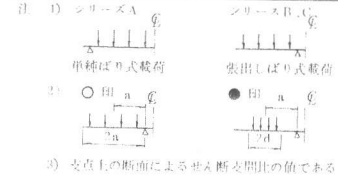


表-2 ひびわれの分類

荷重の種類	供試体のシリーズ	せん断支間比(M/Q) $\cdot d = a/d$ (1)								
		0.5	1.0	1.15	1.5	1.75	2.0	2.25	3.0	3.5
I	A	---	---	BS	BS	---	BS	---	DT	---
	B	DS	BS	---	---	BS	---	BS	BS	DT
	C	---	BS	---	---	---	DT	---	DT	---
II	A	---	---	BS	BS	---	BS	---	BS	---
	B	---	BS	---	---	BS	BS	---	BS	BC
	C ²⁾	---	BS	---	---	---	BS(BS)	---	(BS)	---
IV	A	---	---	BS	BS	---	BS	---	---	---
	A	---	---	BS	BS	---	BS	---	BS	---

注) 1) ひびわれを次のとおり分類した。
 BC: 曲げひびわれ BS: 曲げせん断ひびわれ
 DT: 斜め引張ひびわれ DS: 斜め線状せん断ひびわれ
 2) () 内は、表-1の●印の場合。

表-3 破壊の分類

荷重の種類	供試体のシリーズ	せん断支間比(M/Q) $\cdot d = a/d$ (1)								
		0.5	1.0	1.15	1.5	1.75	2.0	2.25	3.0	3.5
I	A	---	---	SC	SC	---	SC	---	DT	---
	B	SP	BC	---	---	DT	---	DT	DT	DT
	C	---	SC	---	---	---	DT	---	DT	---
II	A	---	---	ST	SC	---	DT	---	DT	---
	A	---	---	ST	SC	---	DT	---	DT	---
III	B	---	BC	---	---	BC	---	BC	BC	BC
	C ²⁾	---	BC	---	---	---	BC(DT)	---	(BC)	---
IV	A	---	---	BC	SC	---	DT	---	---	---
	A	---	---	SC	BC	---	DT	---	DT	---

注) 1) 破壊モードの記号は、次のとおりとする。
 BC: 曲げ圧縮破壊 ST: せん断引張破壊
 SC: せん断圧縮破壊 DT: 斜め引張破壊
 SP: せん断破壊
 2) () 内は、表-1の●印の場合。

安全側の値を示した。

変断面のはりの場合、有効高さをせん断力の最も大きい支点の値としたが、図-2に示すように特に奇異な値とならなかった。変断面となっても凝似的なトラス構造となってせん断力を支える斜材の部分のコンクリートは確保できていたため断面変化のないはりと同じような強度を有していたものと考えられる。

4.2 せん断破壊強度

1点荷重の場合には、せん断支間比が大きくなるとせん断ひびわれ強度とせん断破壊強度がほとんど同じとなり、せん断支間比が小さくなるにつれてせん断破壊強度はせん断ひびわれ強度よりも大きくなっていくことはよく知られているが、本実験では多点荷重の場合には、せん断支間比が3程度でも、破壊強度はせん断ひびわれ強度よりも大きくなった。多点荷重の場合、せん断ひびわれが断面を直線的に横切ることではなく、荷重点付近で軸方向に曲がってしまうことが破壊を遅らせている原因のように思われた。

せん断ひびわれ強度の小さかったシリーズBの場合も破壊強度はシリーズAの場合と同等以上に大きくなり、支点で曲げ破壊するものも多くなった。このような現象の理論的裏付けについては、

今後解明を要する点である。図-3に示す線は、大野・荒川式によるせん断破壊強度の特性値およびせん断支間比が2.0より大きい1点荷重の実験値の平均を特性値として、道路橋示方書的方式による割増しを行った強度である。せん断支間比が2.0以下になると、いずれの荷重方式の破壊強度も大野・荒川式に比べてかなり安全側の値となった。また道路橋示方書のせん断強度の割増し方式も、破壊強度では安全な値となっている。

4.3 照査位置を変えて照査する方式に関する検討

土木学会限界状態設計指針(案)⁵⁾においては、支点付近のせん断強度は照査位置を変えて照査し、すべての位置で安全であれば良いとする新しい照査方式を示している。この照査方式では照査位置によってせん断力の設計用値を低減しているが、せん断強度を割増すと考えても同じである。その割増し率は図-5の点線で示すように照査位置 $2d$ (d :有効高さ) から始まって支点で5倍となっている。本実験に用いた供試体について、せん断ひびわれ発生位置に最も近い、支点と反対側の荷重の位置(図-4の○印)を横軸に、せん断ひびわれ時のその断面のせん断力と1点荷重でせん断支間比が2.0より大きい場合のせん断ひびわれ強度の測定値の平均との比率を縦軸にプロットしたのが図-5である。

変断面の場合には、照査位置での有効高さを用いるのが正しいが、著しく安全な値となるので支点断面の有効高さを用いて計算した。土木学会の割増し式はせん断破壊強度の計算に用いる式であるが、せん断ひびわれ強度の実験値の平均値的な割増し値を示しているといえる。道路橋示方書の割増し式

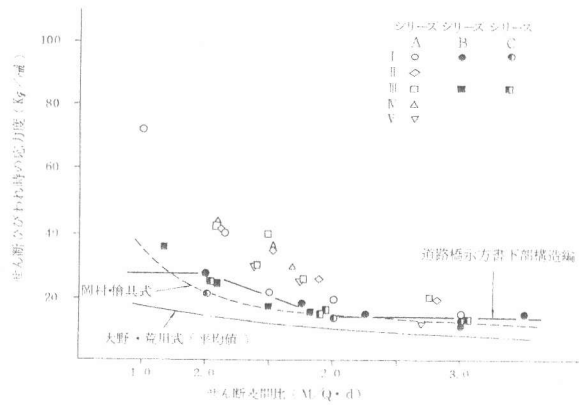


図-2 せん断支間比とせん断ひびわれ時の応力度

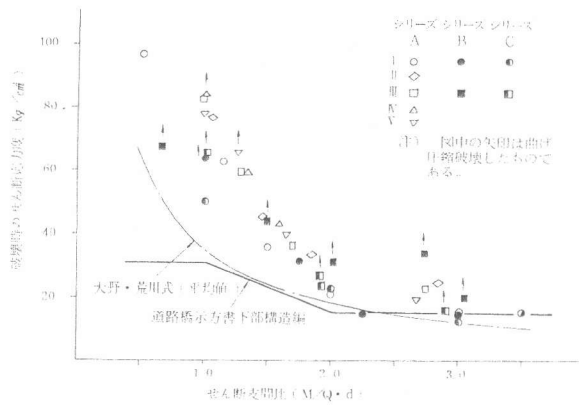


図-3 せん断支間比と破壊時のせん断応力度

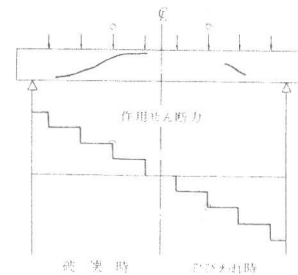


図-4 照査荷重点位置と照査作用せん断力

をこの照査方式でせん断ひびわれ強度を照査するの
に用いるには、やや大きすぎるように思える。
むしろ2d離れた照査位置で1.0とし、支
点で2.0とする直線の方が安全でかつ使い
易い。

せん断破壊強度について同様に整理したのが
図-6である。破壊強度は支点に近づく
と増加する割合が大きいので、土木学会、
道路橋示方書のいずれの割増し方式を用
いても問題がなさそうである。

5. 結論

本実験結果から得られた結論は以下のよう
なものである。

(1) 多点載荷される部材のせん断強度の増
加量は、支点強度～せん断支間長(M/Qま
たは荷重重心から支点までの距離)の関
係で整理した場合、せん断ひびわれ強度
は片持ち(張出し)ばりと単純ばりとで
異なった傾向を示し、片持ち(張出し)
ばりは荷重を分散させても強度の増加量
が少ない。

(2) 岡村・松貝のせん断ひびわれ強度式
は、多点載荷の実験結果の下限値によく
一致した。

(3) 大野・荒川のせん断破壊強度式は、
実験値に比べてやや安定側の値を示した。

(4) 土木学会限界状態設計法(案)方式
の照査方法に用いる照査位置による割増
し係数(1/β)は、せん断ひびわれ強度の
実験値の平均的な値を示している。

(5) 上記方法に対する強度の割増し式と
して $\alpha' = 2 - x/2d$ ($1 \leq \alpha' \leq 2$, xは
支点からの距離)を用いても、安全度は
低くならないと考えられる。

なお、(5)に示す割増しを採用すれば、
等分布荷重のような場合には支点で許容
応力度を2倍して照査し、支点から2d
の位置で許容応力度以下かを照査する
だけで済む。支間8d以下の等分布荷重
がのる単純ばりは支点のみでの照査で
よく、許容応力度が2倍にとれ、旧示
方書で版状の構造物が許容応力度を現
行の2倍にとれた理由も説明できる。

<参考文献>

- 1) 小林, 森濱, 高橋; 鉄筋コンクリート部材のせん断実験データ集, 土木研究所資料第2045号, 1984
- 2) 森濱, 小林, 高橋; 多点載荷されるはりのせん断支間比の取扱いに関する研究, 土木学会第38回年次学術講演会 講演概要集第5部, 1983
- 3) 日本建築学会; 鉄筋コンクリート構造計算規準, 1971
- 4) 日本道路協会; 道路橋示方書・同解説IV下部構造編, 1980
- 5) 土木学会; コンクリート構造の限界状態設計法指針(案), コンクリートライブラリー第52号, 1983

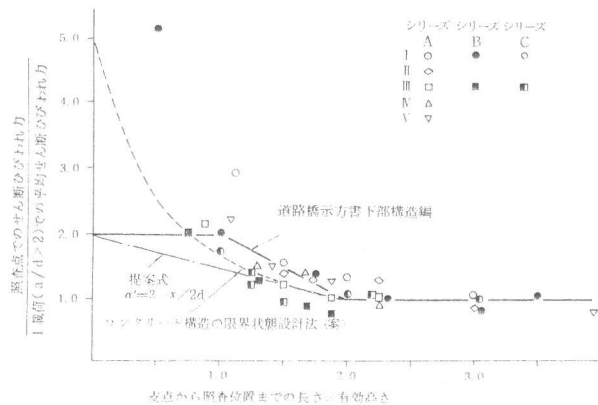


図-5 せん断ひびわれ時の照査

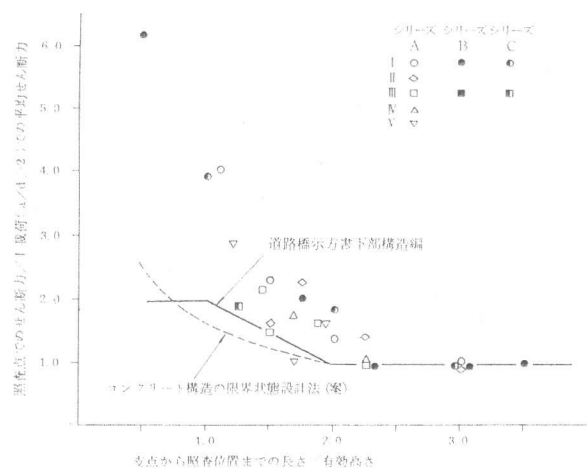


図-6 せん断破壊時の照査