

レーザースペックル法によるRCはりの変形特性の検討

北海道大学大学院 学生員 西園 勝秀
北海道大学工学部 正 員 佐藤 靖彦
北海学園大学工学部 正 員 高橋 義裕
北海道大学工学部 正 員 上田 多門

1. はじめに

せん断に関する研究の多くは、部材の終局せん断耐荷力を求めることを目的として行われてきたため、せん断力による変形については不明な点が多い。そこで本研究では、 a/d の大きさに着目し、それがRCはりのせん断変形に及ぼす影響を及ぼすかを、レーザースペックル法を用いて明らかにするものである。また主ひずみの分布から、主ひずみの方向（主応力の方向）を測定し、トラスモデルにおける圧縮斜材の角度を考察する。そして、RCはりの変形に対するせん断変形の割合が、 a/d の大きさによりどのように変化するかをトラスモデルで示している。

2. 実験概要

2-1 実験供試体

実験は、 a/d が異なる2体の供試体によって行った。それぞれの a/d は2.5、3.3であり、主筋比、せん断補強筋比は等しくしてある。使用した補強筋の力学的特性を表-1に、実験供試体の諸元を表-2に、供試体形状を図-1に示す。支点は、綱製ローラーを用いた単純支持とし、2点集中荷重で単調に載荷を行った。

表-1 補強筋の力学的特性値

公 称	公称直径 (mm)	公称断面積 (mm ²)	降伏強度 (MPa)	弾性係数 (GPa)
D6	6.35	31.67	355	183
D13	12.7	126.7	355	170

表-2 供試体諸元

供試体	主筋	せん断 補強筋	a/d (%)	軸方向 補強筋比 (%)	せん断 補強筋比 (%)	破壊荷重 (kN)
NO. 1	D13	D6	2.5	4.22	0.63	133
No. 2	D13	D6	3.3	4.22	0.63	78

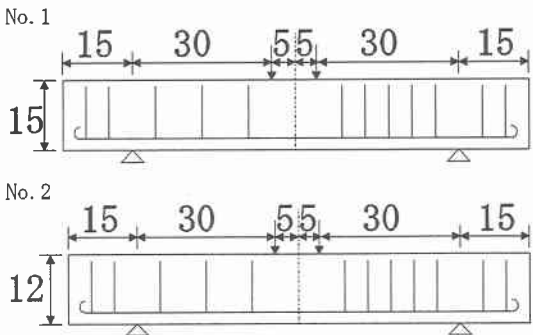
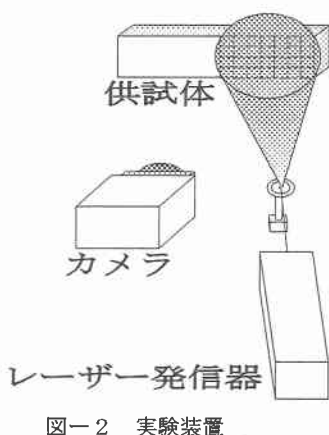


図-1 供試体図（単位：cm）

2-2 レーザースペックル法による測定

本研究では、はりのせん断変形を測定する方法として、非接触的に二次元変位場を測定可能なレーザースペックル法を用いた。このレーザースペックル法に関しては、文献¹⁾に詳しい。本研究では図-2に示すせん断スパン全体を測定領域としており、この領域のせん断ひずみ及び主ひずみが、作用せん断力の増加とともにどのように変化するかに着目している。

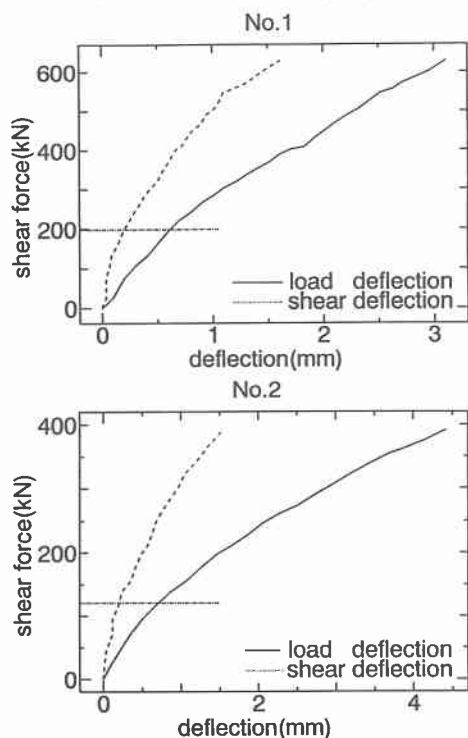


図一 2 実験装置

3. 実験結果

3-1 セン断変形の a/d による相違

図一 3 は、載荷点の荷重、せん断変位曲線を示している。ここで、せん断による変位とは、測定したせん断ひずみにせん断スパン長を掛けたものである。供試体 No. 1、No. 2 の斜めひび割れ発生荷重は、それぞれ 200kN、140kN であった。したがって、図よりせん断変形は、斜めひび割れ発生後に大きく増加



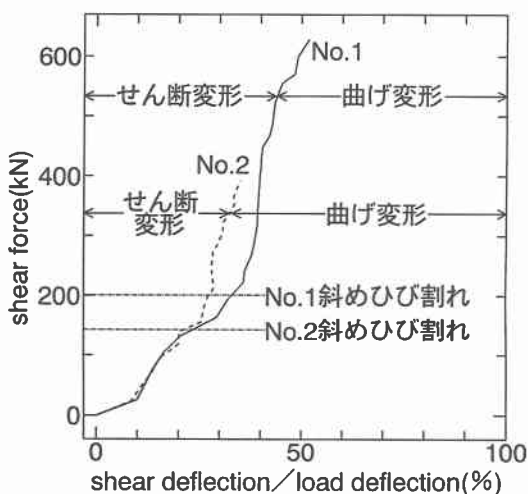
図一 3 荷重、せん断変位曲線

する事がわかる。

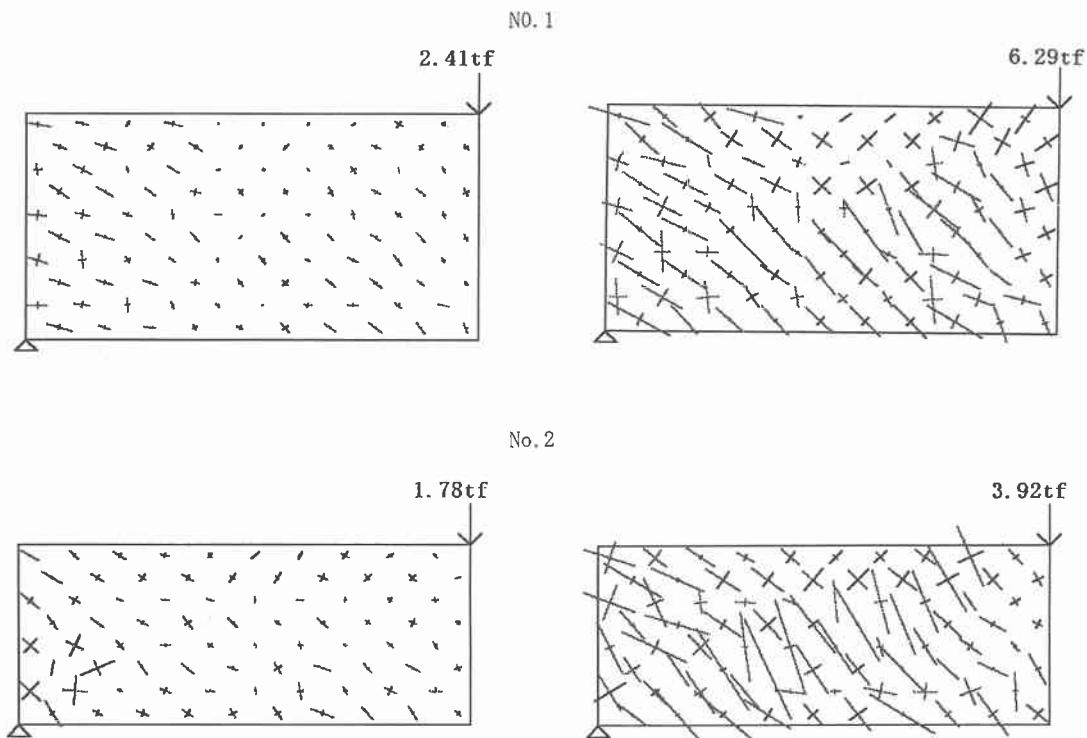
図一 4 は、せん断による変位をはり全体の変位で除したものである。2つの供試体とも、斜めひび割れ発生後において、せん断変形の占める割合は作用せん断力によらずほぼ一定となる。また、その割合は a/d の小さいものほど大きい。

3-2 主ひずみ分布

図一 5 は、せん断スパン全体の主ひずみの分布図である。図中の実線は主圧縮ひずみを、点線は主引張ひずみを示している。No. 1、No. 2 の主圧縮ひずみの X 軸に対する角度の平均値は、それぞれ 45° 、 41° であった。主圧縮ひずみの方向が主圧縮応力の方向と一致するとすれば、 a/d が小さいものほど主圧縮応力の X 軸に対する角度は大きい。また、主圧縮応力の角度は、トラスモデルの圧縮斜材の角度と考えることが出来るので、 a/d が小さいものほどトラスモデルの圧縮斜材の角度は大きいといえる。



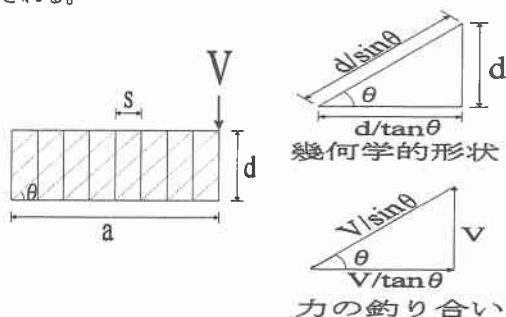
図一 4 セン断変形の割合



図一五 主ひずみ分布

4. トラスモデルのせん断変形

トラスの上・下弦材の変形は、主として曲げによるものである。したがって、これらの弦材が変形しないと仮定すると、任意の斜材角度 θ をもつトラスのせん断力 V による載荷点の変位は、仮想仕事の原理から式(1)で表される。



図一六 斜材角度 θ のトラスモデル

$$1 \cdot \delta = \int_0^a \frac{V \cdot 1}{E_w A'_w} dx + \int_0^{\frac{d}{\sin \theta}} \frac{\frac{V}{\sin \theta} \cdot \frac{1}{\sin \theta}}{E_c A'_c} dx \quad (1)$$

$$= \frac{VS}{E_w A'_w} \cdot \tan \theta + \frac{4V}{E_c b} \cdot \frac{1}{\sin^3 \theta \cdot \cos \theta}$$

$$\left(\begin{array}{l} A'_w = \left(\frac{d}{S \tan \theta} \right) A_w \\ A'_c = bd \cos \theta \end{array} \right)$$

これより、せん断ひずみは式(2)で表される。

$$\gamma = \frac{\delta}{d / \tan \theta}$$

$$= \frac{VS}{E_w A_w d} \cdot \tan^2 \theta + \frac{4V}{E_c b d} \cdot \frac{1}{\sin^2 2\theta} \quad (2)$$

したがって、載荷点のせん断ひずみによる変位 Y_s は、せん断ひずみ γ にせん断スパン長 a を掛けて式(3)となる。

$$Y_s = \frac{VS}{E_w A_w d} a \cdot \tan^2 \theta + \frac{4V}{E_c b d} a \cdot \frac{1}{\sin^2 2\theta} \quad (3)$$

ここで、式の第1項目はせん断補強筋の変位を、第2項目はコンクリート圧縮斜材の変位を表している。コンクリート圧縮斜材の変位は、せん断補強筋の変位に比べ極めて小さいので、それを省略するとせん断による変位は式(4)と表すことができる。

$$Y_s = \frac{VS}{E_w A_w d} a \cdot \tan^2 \theta \quad (4)$$

また、曲げによる変位 Y_b は式(5)と表されるので、はりの変位 $Y_b + Y_s$ に対するせん断変位の割合は、式(6)となる。

$$Y_b = \frac{(2V)(2a)}{48 E_c I} = \frac{V}{3 E_c I} a^3 \quad (5)$$

$$\frac{Y_s}{Y_b + Y_s} = \frac{\frac{S}{E_w A_w d} \cdot \tan^2 \theta}{\frac{1}{3 E_c I} \cdot a^3 + \frac{VS}{E_w A_w d} \cdot \tan^2 \theta} \quad (6)$$

ここで、はりの断面、補強筋の剛性を一定とすると、上式は作用せん断力によらず斜材角度 θ 及びせん断スパン長 a の関数となる。図一5より、 a/d が小さいほど斜材角度は増加するので、式(6)の値は大きくなる。したがって、はり部材では a/d が小さいほどはりの変位に対するせん断による変位の割合は大きくなる。

5. まとめ

- (1) せん断変形は斜めひび割れ発生後に大きく増加する。
- (2) 斜めひび割れ発生後において、はりの変形に対するせん断変形の割合は、作用せん断力によらずほぼ一定である。また、その割合は a/d が小さいものほど大きい。
- (3) その原因は、一定断面ならばトラスモデルにおいて、 $Y_s/(Y_b + Y_s)$ が斜材角度 θ とせん断スパン長 a の関数であり、 a/d が小さいほど斜材角度が増加するからである。

【謝辞】

本研究は、北海学園大学の高橋義裕先生の卒業研究チームと共同で行ったものである。実験及び画像解析で多大な協力をしてくれた4年生の磯部雅洋君、高島秋則君、日澤勝君、松尾好記君に心より感謝の意を表します。

【参考文献】

- 1) Tirath Mnojya, PALLEWATTA, Masaru TADA, Hideyuki HORII: MESUREMENT OF DISPLACEMENT FIELD OF CONCRETE BY LASERSPECKLE METHOD, TRANSACTION OF THE JAPAN CONCRETE INSTITUTE, Vol. 12, No. 1, pp. 835-840
- 2) Yasuhiko Satou, Tamon Ueda, Yoshio Kakuta: Shear Resisting Model of Reinforced and Prestressed Concrete Beams Based on Finite Element Analysis, Proc. of JCI, International Workshop on Shear in Concrete Structure, pp159-173
- 3) 田辺忠顕、檜貝勇、海原秀哲、二羽淳一郎：コンクリート構造、朝倉書店、pp136-138、