

V-27

せん断補強鋼材の配置角度が異なる  
鋼コンクリートサンドイッチはりの疲労強度

北海道大学工学部 学生員 頭川 正信  
 北海道大学工学部 学生員 モハブ ザハラシ  
 北海道大学工学部 正員 古内 仁  
 北海道大学工学部 正員 木村 勉

1. まえがき

鋼コンクリートサンドイッチ構造は、鋼板の間にコンクリートを充填して、鋼とコンクリートが一体となって外力に抵抗するような構造形式である。このような構造は、鋼とコンクリートのお互いの弱点を補い合い、特徴を上手く生かすことから、海洋構造物、地下構造物をはじめとする各種構造物への適用が試みられるようになり、近年、その研究が活発に行なわれている。しかし、鋼コンクリートサンドイッチ構造の疲労特性については、まだ研究報告が少ないというのが現状である。

本研究は、サンドイッチ構造において、せん断補強鋼材幅、および配置角度に着目し、実験によりサンドイッチ構造のせん断疲労強度およびせん断耐荷機構を明らかにすることを目的としている。

2. 供試体の諸元

せん断補強鋼材の配置が異なる2種類の供試体を準備した。本研究で用いられた供試体の形状・寸法を図1に示す。Type-Aは、せん断スパン中央部にせん断補強鋼材としてダイヤフラムを垂直に配置した構造である。このダイヤフラムによってコンクリートは分断されている。Type-Bは、ダイヤフラムが部材軸と45度の角度をなすように配置されている。各供試体のせん断補強鋼材量は同じである。いずれの供試体も、部材長2190mm、部材幅150mm、部材高さ300mm、外殻鋼板厚さ16mm、せん断スパン比2.47で、30mm×30mmの形鋼を用いたシアコネクタを配置している。

使用した鋼材はSM490で、コンクリート圧縮強度は15MPaを目標にした。コンクリートの示方配合、養生日数、強度を表1に示す。

なお、供試体は、Type-Aを1体（疲労載荷実験）、Type-Bを2体（静的載荷実験・疲労載荷実験）、それぞれ作成した。

3. 実験概要および結果

各供試体の静的せん断耐力は、「鋼コンクリートサンドイッチ構造設計指針(案)」(土木学会)<sup>1)</sup>によって算定した。なお、Type-Bについて静的載荷試験をおこなったのは、ダイヤフラムが斜めに配置された場合のはりの実験データが皆無であるためである。得られた静的せん断耐力を表2に示す。

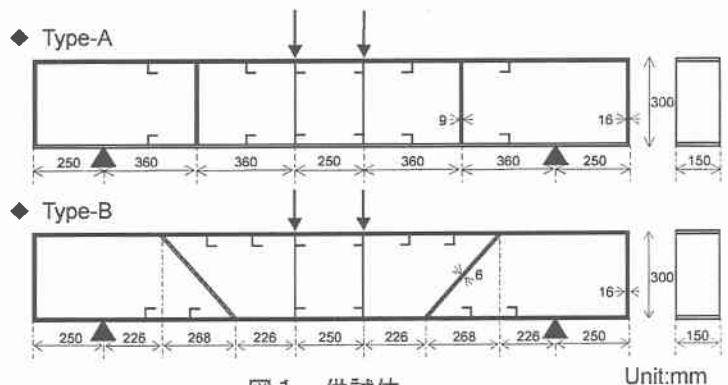


図1・供試体

表1 コンクリート配合

	W [kg/m <sup>3</sup> ]	W/C [%]	C [kg/m <sup>3</sup> ]	G [kg/m <sup>3</sup> ]	S [kg/m <sup>3</sup> ]	養生日数 [日]	f <sub>c</sub> [MPa]
Type-A	160	61	262	1030	900	9	14.6
Type-B (静的)	160	63	254	1034	904	10	17.2
Type-B (疲労)	160	61	262	1030	901	9	15.9

表2 静的せん断耐力

	指針	実験
Type-A	337.8kN	—
Type-B	484.9kN	465.3kN

Type-B の静的載荷実験は、荷重を 20kN 刻みで増加させて、供試体を観察した。80kN で曲げひび割れが、100kN でせん断ひび割れが観察された。その後、載荷点からダイヤフラム下側、ダイヤフラム上側から支承にせん断ひび割れが発生し、465.3kN で、載荷点直下のコンクリー

表3 疲労載荷実験の結果

供試体	静的耐力	P <sub>MAX</sub>	P <sub>MIN</sub>	載荷回数	破壊形式
Type-A	338kN	240kN	20kN	171,692	下側鋼板 (ダイヤフラム溶接部) 破断
Type-B	465kN	330kN	20kN	28,036	下側鋼板 (ダイヤフラム溶接部) 破断

トがせん断圧縮破壊を起こした。示方書による計算値は 484.6kN で、やや計算値を下回った。

疲労載荷試験における最大荷重は表3に示すように、Type-A は、指針による静的せん断耐力算定値の約70%、Type-B は、実験によって得られた静的せん断耐力の約70%を選択した。なお、最小荷重は、いずれの供試体も20kNとした。

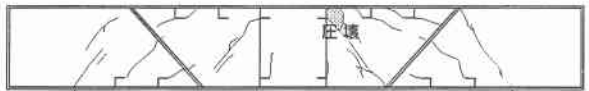
Type-A の疲労載荷実験においては、1回目の載荷ではりの中心部に曲げひび割れが発生しその後下部支承側シアコネクタからダイヤフラム中央付近、下部中心側シアコネクタから載荷点にせん断ひび割れが発生した。載荷回数が1,000回を超えると、目立ったひび割れの伸展はみられなくなったが、下側鋼板ダイヤフラム溶接部内側のひずみが徐々に増大し、171,692回で下側鋼板のダイヤフラム溶接部が破断し、供試体は破壊した。

Type-B の疲労載荷実験においては、1回目の載荷ではりの中心部に曲げひび割れが発生し、ダイヤフラム下側付け根～載荷点にせん断ひび割れが発生した。載荷回数100回までには曲げひび割れは伸展せず、支承からダイヤフラム上側付け根にせん断ひび割れが発生した。その後、載荷点からダイヤフラム下側付け根のひび割れが卓越する。そして載荷点の最大たわみが急激に増加した直後、28,036回で下側鋼板のダイヤフラム溶接部が破断し、供試体は破壊した。各供試体のひび割れ性状を図2に示す。

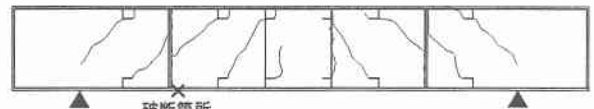
疲労載荷実験の破断箇所付近の下側鋼板のひずみの変化を図3 (Type-A)、図4 (Type-B) に示す。

図中の●、○は下側鋼板の内側(コンクリート側)、▲、△は下側(外側)の最大載荷時と最小載荷時のひずみを示している。どちらの供試体も、載荷回数が増加してもひずみ振幅は増加していない。また、鋼板の内側に引張応力が作用し、外側に圧縮応力が作用するという結果より、ダイヤフラム接合部付近で、図5に示すような

◆ Type-B (静的)



◆ Type-A



◆ Type-B (疲労)

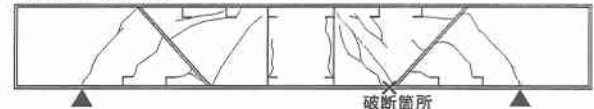


図2 ひび割れ図

下側鋼板の局部変形が起きているのが分かる。

Type-A では、荷重回数の増大に伴い、ひずみが増大している。Type-B については、 $N = 10 \sim 100$  で引張ひずみが減少しているが、それ以外では概ねひずみが増大する傾向にある。

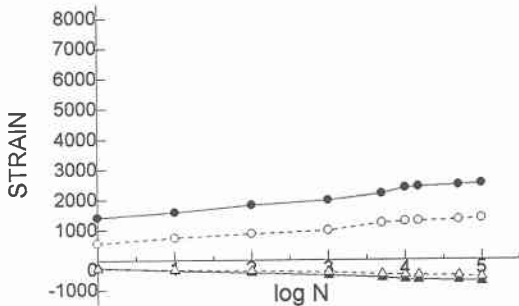


図3 ひずみの変化 (TYPE-A)

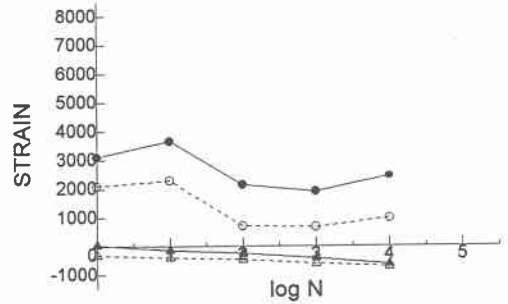


図4 ひずみの変化 (TYPE-疲労B)

#### 4. 考察

RCはりとは異なり、サンドイッチはりの疲労寿命の算定方法は、まだ定量化されるに至っていない。ここでは、ダイヤフラムの破断、下側鋼板の破断の2つの破壊モードについて文献<sup>2)</sup>によって提案されている方法で疲労寿命について検討を行うことにした。

図6・図7 は、それぞれ本実験の供試体の下側鋼板と同じ断面を持つ鋼材単独の一軸疲労荷重試験と、ダイヤフラムと同じ材質の鋼材の一軸疲労荷重試験の結果から得られた荷重回数と応力振幅との関係を表す。

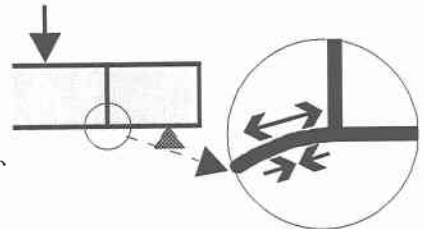


図5 下側鋼板の局所変形

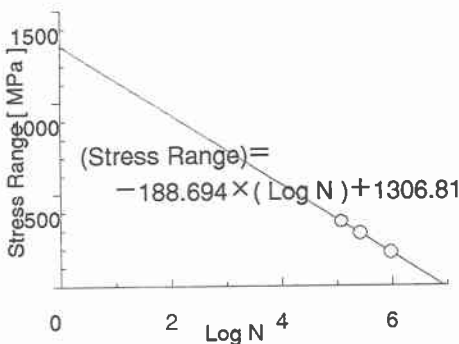


図6 下側鋼板の疲労実験

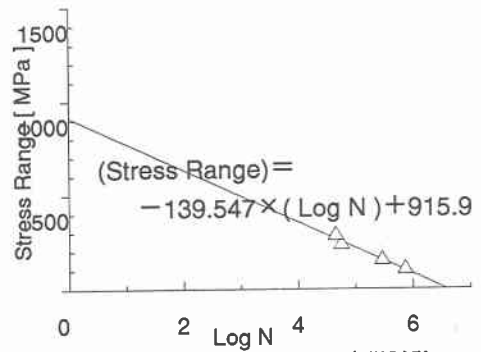


図7 せん断補強鋼材の疲労試験

下側鋼板の疲労破断について検討する。図6のS-N関係に対して、実際のはり部材では、ダイヤフラム溶接部近くの下側鋼板は、図5に示したように局部変形を起こしているため、疲労寿命は鋼材単独の場合より短くなる。図8は図6で得られた疲労寿命を $1/\alpha$ に低減し、本実験による応力振幅と疲労寿命を適合させたものである。 $\alpha$ は供試体の形状・寸法によって異なり、本実験の供試体と同じ形状でタイププレートによりせん断補強された供試体は、その実験結果から $\alpha = 4 \sim 5$ であることが示されているが、本実験の供試体の場合は $\alpha = 5.49$ となった。

次にせん断補強鋼材の破断について検討する。この検討においても、文献<sup>2)</sup>で示された方法を用いることにした。図9は、各供試体の 載荷回数-応力振幅関係を示したものである。この関係と 引張疲労試験から得られた関係 (図7) との交点が、せん断補強鋼材が破断に至る繰り返し回数である。計算結果を 図9 に示す。本実験の場合、ダイヤフラムの破断に対する疲労寿命は、Type-A で 1,513,561 回、Type-B で 457,088 回と下側鋼板破断に対する疲労寿命よりもかなり長いことがわかる。

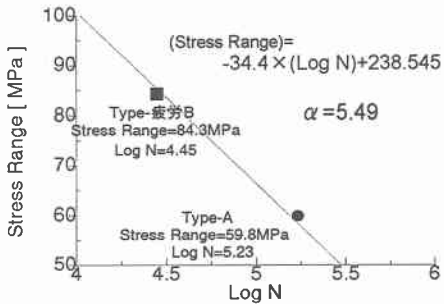


図8 実験値による S-N 曲線 (下側鋼板)

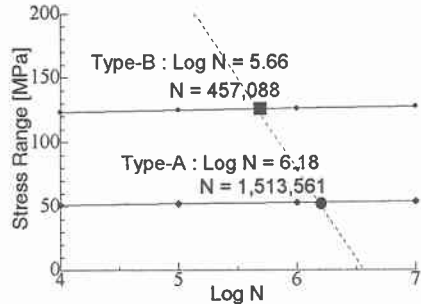


図9 疲労載荷回数の計算 (せん断補強鋼板)

また、文献<sup>2)</sup>で示された方法によって得られるダイヤフラム中央のひずみと、実験によるダイヤフラム中央の平均ひずみを 図10 (Type-A)、図11 (Type-B) に示す。計算値と実測値は、ほぼ同じ値をとっている。

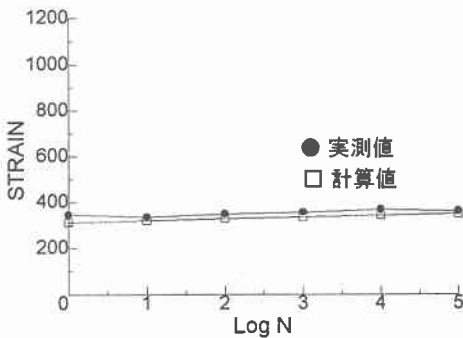


図10 ダイヤフラム中央部のひずみ (Type-A)

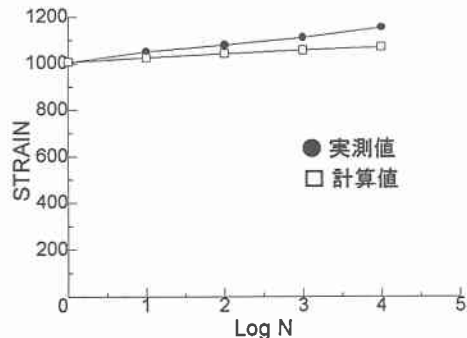


図11 ダイヤフラム中央部のひずみ (Type-B)

## 5. まとめ

- 1) 斜めにダイヤフラムを配置したはりの静的せん断耐力は、設計指針の計算値に近い値となる。
- 2) 疲労載荷実験を行なった供試体は、全て下側鋼板のダイヤフラム溶接部の破断によって破壊している。
- 3) 本実験において、下側鋼板の破断に対する疲労寿命は、鋼材単独の疲労寿命の 1/5.49 となっている。
- 4) 本実験においては、いずれの疲労載荷試験についても、せん断補強鋼材の破断に関する疲労寿命が下側鋼板の破断に関する疲労寿命よりも長くなっている。
- 5) 疲労載荷時にダイヤフラム中心に生じるひずみは、文献<sup>2)</sup>で示された方法による計算値にほぼ一致する。

## 参考文献

- 1) 土木学会：鋼コンクリートサンドイッチ構造設計指針 (案) 1992.7
- 2) Mohab Zahran、木村勉、上田多門、角田與史雄：A Study on the Fatigue Fracture of Shear Reinforcing Steel Plates in Steel-Concrete Sandwich Beams、土木学会北海道支部論文報告集第5 2号、1996