

論文

[2035] 新素材によるせん断補強効果について

正会員 村山八州雄 (鹿島建設技術研究所)
 正会員○天野玲子 (鹿島建設技術研究所)
 正会員 奥村一正 (鹿島建設技術研究所)
 正会員 プシャタム・プシャ (鹿島建設技術研究所)

1. はじめに

耐腐食性に優れ、軽量・高強度であるFRP（繊維強化プラスチック）線材をコンクリート補強材として利用するための研究開発が活発に進められており、FRP線材を用いた梁部材の曲げ及びせん断性状に関して数多くの報告がなされている。その結果、曲げ性状に関してはRC理論が適用可能であることが明らかとなっており[1]、せん断性状に関しては、FRP線材を軸方向筋として用いた場合のVc(せん断補強筋を用いない場合のせん断耐力)値について、軸方向筋比を鋼材に対する弾性係数比で低減させることで算定可能であることが示されている[2]が、せん断補強筋として用いた場合の効果については今だ明らかとはなっていないようである。

ここでは、FRP線材をせん断補強筋とした梁部材のせん断性状について検討するため、φ32のゲビンデを軸方向筋として、せん断補強筋に2種類のCFRPストランド（弾性係数 1.48×10⁶ kgf/cm², 2.15×10⁶ kgf/cm²）、異型鉄筋（D6）、及び異型鉄筋と同様な形状に加工したチタン筋（弾性係数1.09×10⁶ kgf/cm²）を用いた梁部材の載荷実験を行い、その結果について検討を行った。

2. ゲビンデを軸方向筋とした梁部材のせん断耐力

軸方向筋にゲビンデを用いた場合のせん断耐力について検討するため、軸方向筋比を同一にして、φ32のゲビンデを軸方向筋とした場合とD32の異型鉄筋を軸方向筋とした場合の梁部材の載荷実験を実施した。試験体諸元及び実験結果について表-1に示す。

試験体及び載荷状況を図-1に、コンクリートの配合を表-2に示す。

表-1 試験体諸元及び実験結果

* ()内斜めひびわれ発生荷重

No	軸方向筋	P (%)	f _c (kgf/cm ²)	a/d	M _{uc} /a (tf)	M _{cuc} /a (tf)	算定値		補強筋	ピッチ (cm)	算定値		実験値
							V _{cc} (tf)	V _{sc} (tf)			V _{cc} +V _{sc} (tf)	P/2 (tf)	
No1	D32	3.2	581	3	17.1	27.5	9.9	-	-	-	-	14.7(10.6)*	
No2	ゲビンデ φ32		581		36.6	27.5	10.0	-	-	-	-	13.8(10.0)*	
No3			582		36.7	27.6	10.0	CFRP1(φ5)	8	12.2	22.2	22.7	
No4			589		36.9	27.9	10.0	CFRP1(φ5)	12	8.2	18.2	22.8	
No5			589		36.9	27.9	10.0	CFRP2(φ5)	8	11.1	21.2	22.5	
No6			602		37.3	28.3	10.1	CFRP2(φ5)	12	7.4	17.5	22.8	
No7			576		36.4	27.4	9.9	D6	8	6.6	16.5	23.9	
No8			602		36.4	28.3	10.1	D6	12	4.4	14.5	21.0	
No9			640		38.5	29.7	10.3	チタン(D10)	10	14.1	24.4	26.2	
No10			640		38.5	29.7	10.3	チタン(D10)	12	11.7	22.0	25.3	

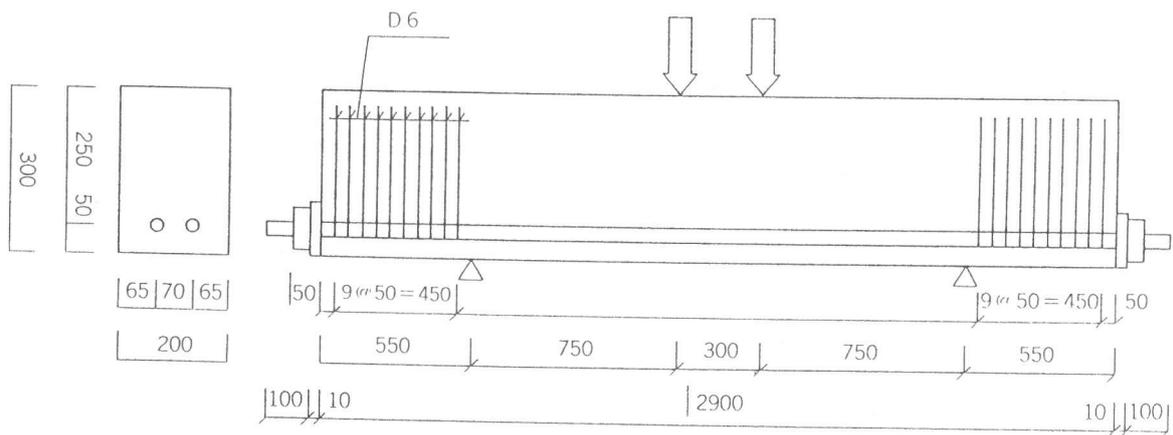


図-1 試験体及び荷重状況

その結果、ゲビンデを軸方向筋とした場合は、異型鉄筋を軸方向筋とした場合と同様に、斜めひびわれが発生した後タイドアーチを形成し、コンクリートが圧壊した。

この場合、斜めひびわれ発生荷重も最大荷重も共に異型鉄筋の場合と同等であった。更に、斜めひびわれ発生荷重は、棒部材のせん断補強筋を用いない場合のせん断耐力算定値 V_{cc} と同等であった。

以上より、FRP線材等をせん断補強筋とした梁部材のせん断性状についての検討は曲げ耐力を上げるためにゲビンデを軸方向筋とした梁部材で実施することとした。

樹脂による重ね継手部

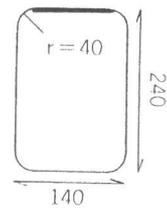


図-2 CFRPによるせん断補強筋

3. せん断補強筋に用いた材料

せん断補強筋として用いた材料の諸元について表-3に示す。

用いた材料は4種類であり、弾性係数の異なる2種類のCFRPストランド、異型鉄筋及び異型鉄筋と同様な形状の異型チタン筋である。

表-2 コンクリート配合表

Gmax (mm)	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m ³)				
			セメント	水	砂	碎石	ポゾリス9HS
20	34.5	34.8	504	174	567	1.089	C×1.8% 9.072

表-3 せん断補強筋に用いた材料

	形状	E (kgf/cm ²)	f _y (kgf/cm ²)	A (cm ²)
CFRP-1	ストランド (φ5)	1.48×10 ⁶	22300	0.101
CFRP-2	ストランド (φ5)	2.15×10 ⁶	20300	0.101
鉄筋	D6	2.1×10 ⁶	3820	0.317
チタン筋	D10	1.09×10 ⁶	4117	0.790

ここで付着強度が同等で弾性係数の異なるせん断補強筋で補強された梁試験体の組み合わせ、つまり弾性係数の異なる2種類のCFRPストランド（ $\phi 5$ ，弾性係数 1.48×10^6 kgf/cm²， 2.15×10^6 kgf/cm²）の組み合わせ、及び異型鉄筋（D6）と異型チタン筋（D10，弾性係数 1.09×10^6 kgf/cm²）の組み合わせの各々の結果を比較することで、弾性係数の違いによるせん断補強筋の効果を検討することとした。

加工形状は、異型鉄筋とチタン筋は曲げ内半径 r を 2.0ϕ とした通常のフック付きのせん断補強筋として曲げ加工し、CFRPストランドについては曲げ内半径 r を 8.0ϕ として図-2のように重ね継ぎ手部を設けた状態で個々に加工したものをを用いている。

3. 1 CFRPストランドの曲げ加工部の影響

CFRPストランドをせん断補強筋として用いる場合、これまでの報告[3]によれば曲げ加工部の影響による強度低減が示されている。

この曲げ加工部の影響について調べるため、表-4に示すように、 $\phi 10.5$ のCFRPストランド（引張強さ11.1t）を対象に曲げ内半径 r をパラメータとして $3\phi \sim 30\phi$ の範囲で5水準に変化させて加工したものをコンクリート中に埋め込んで引き抜き実験を行った。試験体を図-3に示す。また、この実験は再現性を確認するために同条件のものを2体ずつ行った。

表-4 CFRPの曲げ内半径

ロッド	曲げ内半径 (r)
$\phi 10.5$	30
	60
	120
	240
	300

この結果を図-4に示す。また、図-4には文献[3]による $\phi 7.5$ のCFRPストランドのコンクリート強度レベルが同等の引き抜き実験結果も示す。この図によれば、 $\phi 10.5$ のCFRPストランドの場合、曲げ内半径 r が 3ϕ であれば強度は65%程度に低下しているものの、 8ϕ にすると90%となり、 12ϕ 以上であれば強度低下を生じないことが分かった。この強度増加傾向は $\phi 7.5$ の場合にも適用可能と推定されたため、この結果をせん断補強筋として用いるC

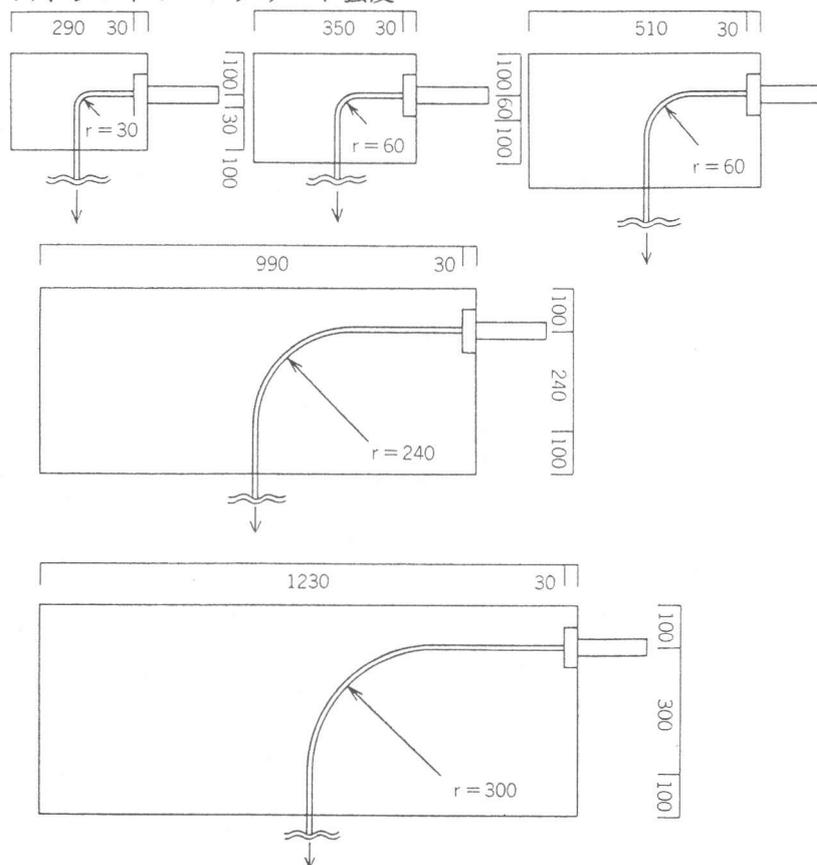


図-3 曲げ加工部強度実験試験体

FRPストランドにも適用することとし、その曲げ内半径 r を 8ϕ とした。

3. 2チタン筋の付着強度

せん断補強筋の弾性係数が低い場合の影響を調べるため、弾性係数 ($1.09 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$) が低く、伸び能力 (15%以上) の大きいチタン材を利用してせん断補強筋とした。

このチタン棒材のコンクリートとの付着強度を異形鉄筋と同等とするため、異形鉄筋と同様な横筋と縦筋の形状に加工した。

この付着強度を確認するために JCI の方法による付着強度試験を行った結果、図-5 のようになり、異形鉄筋と同等の付着強度の得られることが確認された。

4. せん断補強実験

4. 1 実験概要

試験体の諸元を表-1 に示す。試験体及び荷重状況を図-6 に、コンクリートの配合を表-2 に示す。

また、試験体変位については、図-7 に示すように、たわみ以外に荷重点外側の斜めひびわれを跨ぐ変位 (回転変位と呼ぶ) についても測定をおこなった。

せん断補強実験は、上記に示した 4 種類のせん断補強筋 (2

種類の CFRP ストランド、異形鉄筋、異形チタン筋) をそれぞれピッチを変えて配筋した 8 体の試験体を対象に行った。

せん断補強筋のピッチは、せん断補強筋の無い場合のせん断耐力 V_{cc} とトラス理論によるせん断補強耐力 V_{sc} とを重ね合わせたせん断耐力 ($V_{cc} + V_{sc}$) が曲げ耐力よりも低くなるように決定した。この時のせん断補強筋の強度としては、せん断補強筋に用いた材料の母材強度を用いた。

各試験体は、せん断スパンにそれぞれのせん断補強筋を配筋し、せん断スパン有効高さ比を 3 として荷重した。

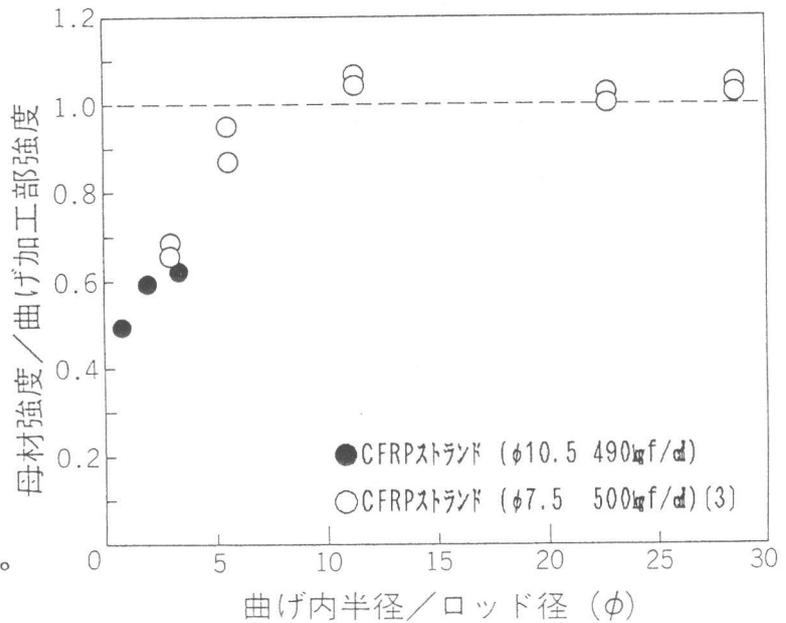


図-4 曲げ加工部強度実験結果

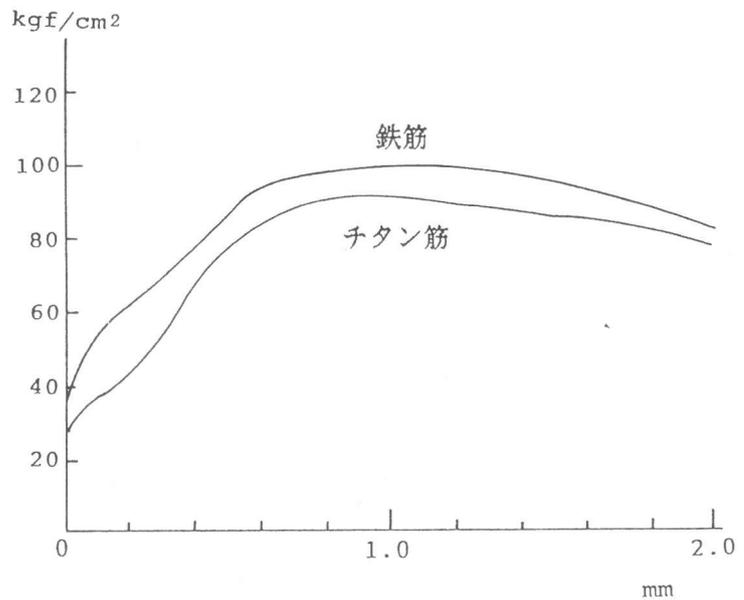


図-5 チタン筋付着強度試験結果

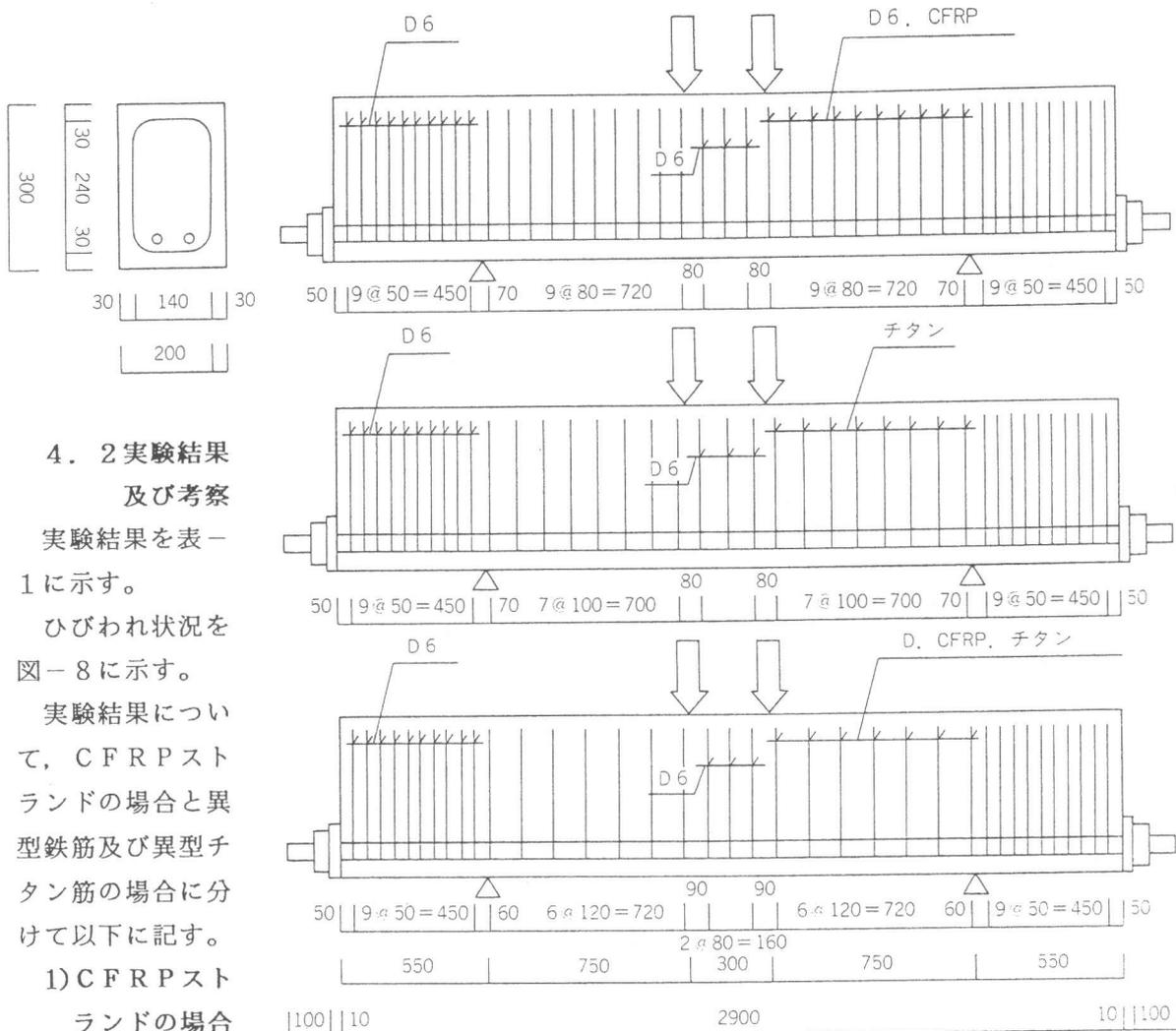


図-6 試験体及び荷重状況

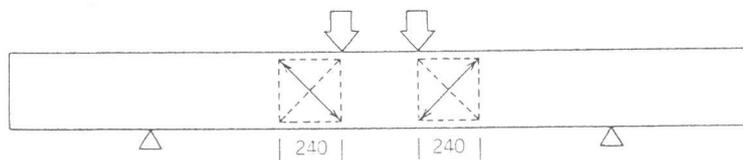


図-7 回転変位測定位置

4. 2 実験結果 及び考察

実験結果を表一

1に示す。

ひびわれ状況を
図-8に示す。

実験結果について、CFRPストランドの場合と異型鉄筋及び異型チタン筋の場合に分けて以下に記す。

1) CFRPストランドの場合

実験の結果、NO.

3~6のすべての

試験体で、せん断補強筋であるCFRPストランドは破断せず、トラス理論で得られたせん断耐力よりも大きく、計算上の曲げ圧壊耐力の80%でコンクリートが圧壊した。

このとき各試験体の最大荷重 ($P/2$) は22.5~22.8 t (コンクリート強度 582~602 kg/cm²) となっており、弾性係数やピッチによる差が見られなかった。

各試験体とも1本の斜めひびわれが卓越しており、その最大ひびわれ幅は34 t の場合に、0.7 (NO.3), 0.88 (NO.4), 0.45 (NO.5), 0.75 mm (NO.6) となっていた。この最大ひびわれ幅の比率は、弾性係数の違いに対しては65%, 85%となっており、ピッチの違いに対しては80%, 60%となっていた。これは、弾性係数の比率 (70%) や、ピッチの比率 (67%) の影響と思われる。その一方で、このひびわれ幅の違いによる回転変位は1.35~1.65 mm とほぼ同等であり、このため圧壊による最大荷重がほぼ等しくなったものと考えられる。

2)異型鉄筋及び異型チタン筋の場合

実験の結果、NO.7~10のすべての試験体で、せん断補強筋である異型鉄筋及び異型チタン筋は一部のせん断補強筋が降伏または耐力値に至り、トラス理論で得られたせん断耐力よりも大きな値でコンクリートが圧壊した。

このとき各試験体の最大荷重 ($P/2$) から、せん断補強筋を用いない場合のせん断耐力算定値 V_{cc} を差し引いた値をせん断補強筋が受け持つせん断耐力 V_{se} とする。NO.7~10の V_{se} (14.0, 10.9, 15.9, 15.0 t) についてせん断補強筋の断面積 A 及びピッチ s による指標 (A/s) を用いて補正すると、14.0, 16.4, 8.0, 9.0 t となり、鉄筋の平均値 (15.2 t) に比べてチタン筋の平均値 (8.5 t) は56%となっていた。

ここで、各試験体の最大荷重時の回転変位は 1.2~1.5mm とほぼ同等であり、斜めひびわれ本数にも差が見られないことから、斜めひびわれ位置でのせん断補強筋のひずみもほぼ同等と考えられる。このため V_{se} の低減は弾性係数比 (52%) の影響と考えられる。

また、弾性係数がほぼ同等であるNO.5~8の最大荷重に算定値に対応する差が見られなかったのは、コンクリート圧壊時にCFRPストランドに破断が見られず鉄筋が降伏に至っていたことによるものと考えられる。

5. まとめ

今回の実験の範囲で結果をまとめると、以下ようになる。

- ①CFRPストランドを曲げ加工する場合、コンクリート強度を 500kgf/cm^2 程度として、曲げ内半径を 8ϕ 以上とすれば母材強度をほぼ確保することができる。
- ②FRP線材やチタン筋のように弾性係数が低い材料をせん断補強筋として用いる場合でも、そのせん断補強効果はトラス理論で算定される以上の効果が期待でき、トラス理論は安全側の評価を与えるようである。

<参考文献> [1] 秋山他：板状のFRPロッドを用いたコンクリートはりの曲げ性状，JCI年次論文報告集，Vol.12, No.2, 1990.6他 [2] 辻他：FRPで補強したコンクリートはりの曲げおよびせん断性状，JCI年次論文報告集，Vol.10, No.3, 1988.6 [3] 丸山他：FRPロッドの曲げ加工部の引張耐力に関する実験的研究，JCI年次論文報告集，Vol.12, No.1, 1990.6

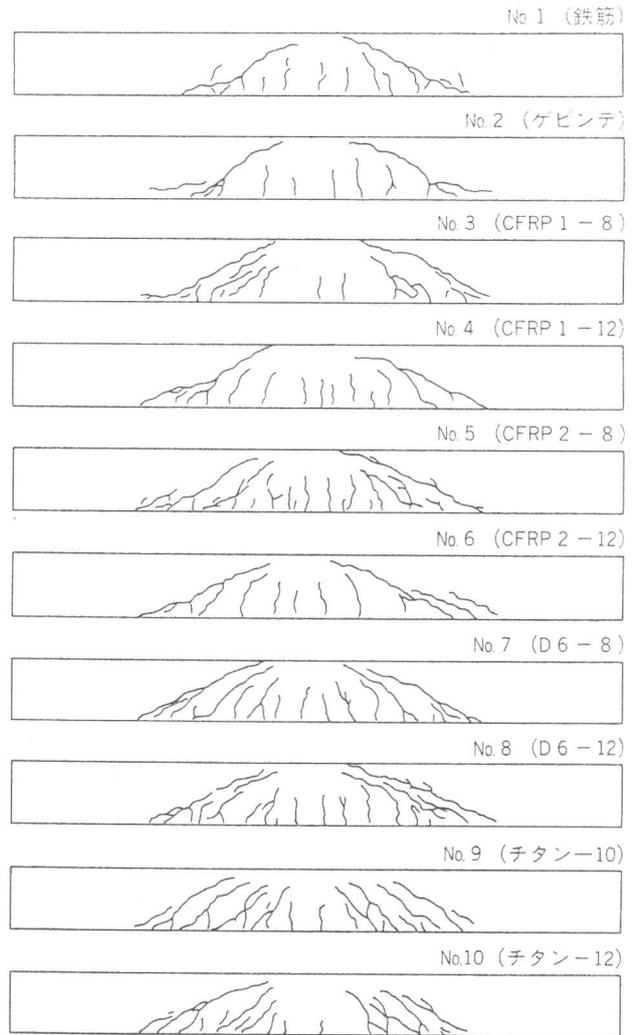


図-8 ひびわれ図