

表面にシヤーキを付けたガラス繊維補強セメントパネルと コンクリートの接合性状に関する研究

STUDY ON JOINING PROPERTIES BETWEEN CONCRETE AND GLASS FIBER REINFORCED CEMENT PANEL WHICH HAS DEFORMED SURFACE

何 仕 栄*¹, 平居 孝之*²

Shirong HE and Takayuki HIRAI

In this study, the stress transfer mechanism and the joining properties between concrete and alkali resistant glass fiber reinforced cement (GRC) panel which had deformed surface, was investigated by experiment and numerical analysis. The strain compliance, which was defined as a ratio of the strain on GRC panel to that on concrete, was proposed as an index to estimate the joining properties between GRC panel and concrete. This was because when the load increased, several behaviors occurred on the joining interface of the specimen could not be understood by loading-displacement relations. Before reaching the maximum load, the damage had occurred on the joining interface, but the specimen would not be broken suddenly. For explaining the behavior on the joining interface, the model, stress transfer element was considered to be effectual.

Keywords : *permanent form, stress transfer element, joining interface, fiber reinforced cement, strain compliance*

打込み型枠, 応力伝達要素, 接合面, 繊維補強セメント, 歪追従性

1. 緒言

セメント系材料は、繊維補強技術の進歩により高い引張強度やせん断強度を持つようになり、その適用範囲はますます広がっている。現在盛んに検討されている打ち込み型枠工法におけるせき板として、繊維補強セメントを用いる工法は、木材を使わず、廃材を出さないため省資源、環境保護、生産性の向上等に寄与できる新しい技術として期待されている。しかしその実現には、コンクリートとの接合性をどのように確保するか、また接合の性能をどのように評価するか等研究すべき課題が残っている^{1)~4)}。

一般に構造計算上はコンクリートに作用する圧縮応力とせん断応力が重要になるので、接合面の状態に影響を与えると考えられるせん断応力を十分に伝達する必要がある。同種または異種セメント系材料を接合する方法として、接合面に、補強材を埋設するか凹凸を設置する等の方法がある。これらの方法は接合面のせん断応力伝達性能を向上するのに効果的であり、これまでの研究では見かけのせん断強度が測定され性能評価の指標として用いられたが^{5)~7)}、接合面の応力伝達状況と破壊機構を実験的に調べ、そのせん断応力伝達の性能を解析し評価するに至っていない。

本研究では、繊維補強セメントとしてGRC(耐アルカリガラス繊維補強セメント)を用い、GRCパネル表面に各種形状寸法が異なる筋状(または筋状分布)シヤーキを付けた場合について、コンクリートとGRCパネルの接合面におけるせん断応力伝達性能を2面せん断試験と数値解析で検討する。

2. 実験的検討

2.1 試験方法

試験は図1に示すような試験体を用いた。試験体に用いたGRCとコンクリートの構成材料と調合をそれぞれ表1から表3に示す。GRCとコンクリートの圧縮試験の結果を表4に示す。試験体の製作はまずプレミックス振動鑄込み法で図2と表5に示すような表面状態のGRCパネルを厚さ15mmに成形し、約20℃で30日間気中養生した後100×100×400mmの型枠にGRCパネルをセットしコンクリートを打設して試験体を作った。そして24時間後試験体を脱型し60日間約20℃で封緘養生を行った。さらに図1に示す試験体の所定位置に長さ120mmの歪ゲージを張り付け、翌日試験を行った。試験では試験体の上下面から圧縮載荷し、圧縮荷重及びGRCパネル表面とコンクリート表面の歪度をデータロガーに記録し試験体の状況を観察した。なお試験体の数はそれぞれ3とした。

2.2 接合面の接合状態を調べる手法

試験体の圧縮荷重と上下面相對変位の関係を図3に示す。荷重変位関係から試験体が破壊する最大荷重が調べられるが、接合面の状態が調べられない。接合面の接合状態を調べるために次の式で定義されるような歪追従性 η を用いた。

$$\eta = \epsilon_c / \epsilon_c \quad (1)$$

ここで ϵ_c はGRCパネル表面の歪度であり、 ϵ_c はコンクリート表面の歪度である。試験結果より η を求めるのに ϵ_c は両側のGRC

*¹ 大分大学大学院工学研究科 大学院生・工修

*² 大分大学工学部福祉環境工学科 教授・工博

Graduate Student, Dept. of Architecture, Faculty of Eng., Oita Univ., M. Eng.
Prof., Dept. of Human Welfare Engineering, Faculty of Eng., Oita Univ., Dr. Eng.

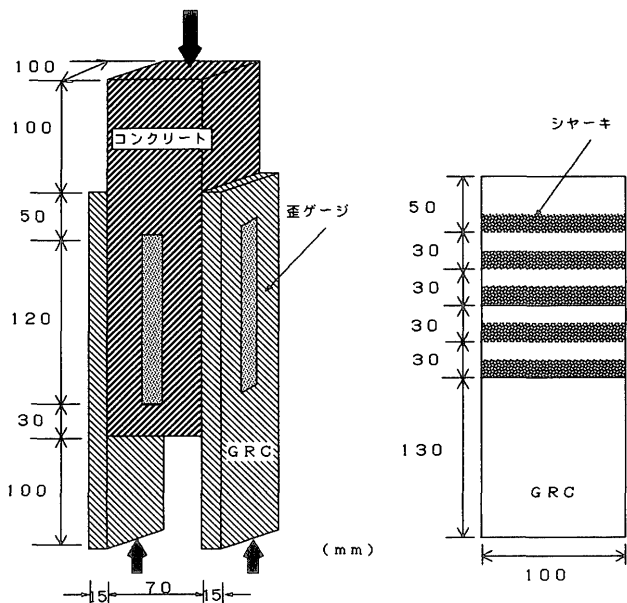


図1 試験体

表1 GRCの使用材料と調合

使用材料	セメント100に対する重量比	備考
セメント	100	早強ポルトランドセメント
骨材	90	砕砂5号
混和材	10	マイクロシリカ
混和剤	3	A E 減水剤
水	30	水道水
ガラス繊維	7	耐アルカリガラス繊維 2.5 mm

表2 コンクリート作製に使用した材料

種類	仕様
セメント	普通ポルトランドセメント
粗骨材	砕石 20 mm、粗粒率 6.70、JISA 5005 適合
細骨材	砕砂 5 mm、粗粒率 2.83、JISA 5005 適合
混和剤	A E 減水剤
助剤	A E 助剤

表3 コンクリートの調合

スランプ (cm)	15	
空気量 (%)	4.0	
水セメント比 (%)	55	
細骨材率 (%)	40	
単位水量 (kg/m ³)	166	
質量 (kg/m ³)	セメント	302
	細骨材	842
	粗骨材	1040
混和剤 (ml/m ³)	755	
A E 助剤 (Cx%)	0.0025	

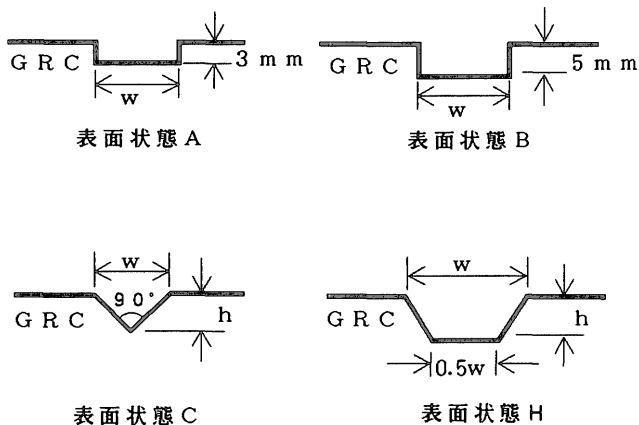


図2 シャーキの断面様式

表4 圧縮試験の結果

材料	ヤング係数 10 ⁵ kgf/cm ²	圧縮強度 kgf/cm ²	養生日数
GRC	2.63	672	28日
コンクリート	2.12	297	60日

供試体：シリンダー (φ60×120 mm)

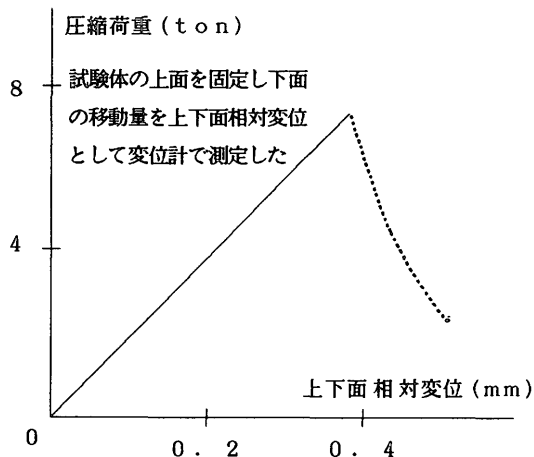


図3 代表的な荷重-変位関係 (A1)

表5 GRCパネルの表面状態

記号	寸法 w (mm)	寸法 h (mm)	断面様式
A1	5	3.0	矩形
A2	10	3.0	矩形
A3	15	3.0	矩形
A4	20	3.0	矩形
B1	5	5.0	矩形
B2	10	5.0	矩形
B3	15	5.0	矩形
B4	20	5.0	矩形
C1	4	2.0	三角形
C2	7	3.5	三角形
C3	12	6.0	三角形
H	20	5.0	台形
O	φ10×深さ3mmの円形凹みを10mm間隔で1列配置		
M	平坦な表面		
X	試験体全体がコンクリート		

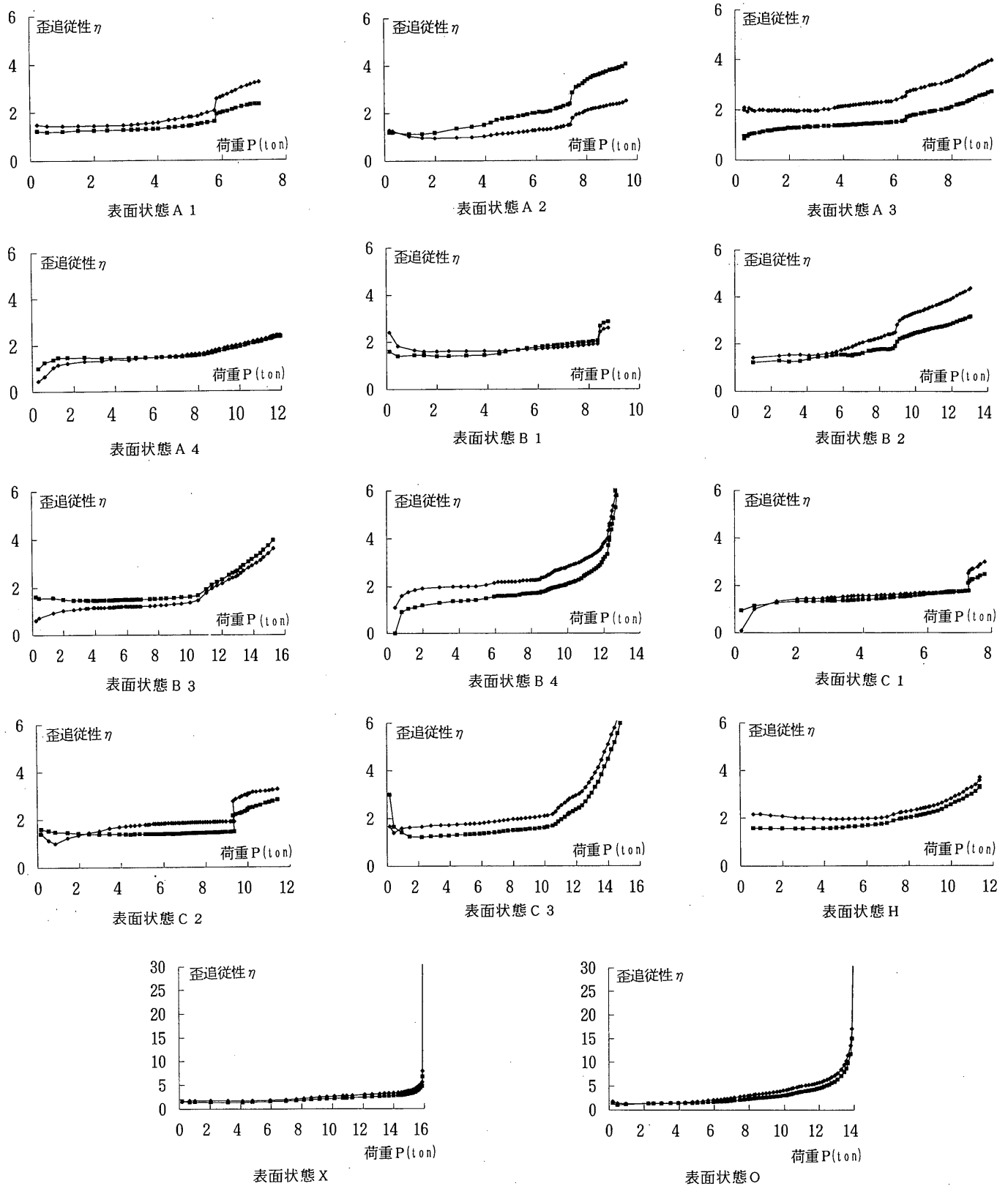


図4 歪追従性の挙動 (両側)

パネル表面の歪度をそれぞれ読みとり、 ϵ_c はコンクリート両側の表面の歪度の平均値を用いた。載荷中各種表面状態の代表的な歪追従性 η の挙動を図4に示す。図5は説明するための例であり、歪追従性 η の挙動は次のような特徴を示す。

1) 荷重 P が小さいとき歪追従性 η はほぼ一定値である。この段階では接合面に損傷や塑性変形等が生じず、接合面ではせん断応力がスムーズに伝達されていると考えられる。このときの応力伝達状態を完全伝達状態と呼ぶ。

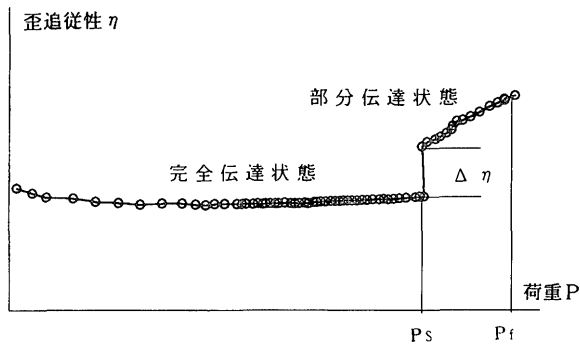


図5 歪追従性の特徴

- 2) 荷重 P がある荷重 P_s になると、歪追従性 η は突然不連続的に跳躍するかまたは増大しはじめる（この場合は歪追従性の跳躍を 0 とする）。この場合接合面に損傷が生じたと考えられ、歪追従性 η が跳躍するかまたは増大しはじめる時点の荷重 P_s を接合面損傷荷重と呼ぶ。
- 3) 荷重 P が P_s を越えた後、歪追従性 η は徐々に大きくなるが GRC パネルはすぐには剥離しない。接合面には損傷があるが、せん断応力の伝達は依然として行われていると考えられる。このような損傷を伴う応力伝達状態を部分伝達状態と呼ぶ。
- 4) 荷重 P が最大荷重 P_{max} になる時点で試験体は破壊する。このとき終局破壊のパターンは多様でありコンクリートの破壊や GRC の破壊や接合面の破壊が見られる。試験体の終局破壊は接合面が剥離破壊する場合の最大荷重をまた剥離荷重 P_f と呼ぶ。

2.3 接合面の性能指標と破壊の特徴

歪追従性 η の特徴より接合面の性能を評価する指標として次のようなパラメーターが重要であると考えられる。

損傷荷重 P_s : 接合面がせん断応力を完全に伝達する状態と部分的に伝達する状態の転換点を表す荷重

剥離荷重 P_f : 接合面がせん断応力を伝達する能力を失った時点の荷重

最大荷重 P_{max} : 試験体が破壊するときの荷重、ただし試験体の破壊が接合面の剥離破壊の場合は $P_{max} = P_f$

歪追従性の跳躍 $\Delta\eta$: 接合面の初期損傷の程度を表す

余剰強度 Pr : 損傷が生じてから剥離が起きるまでの間のせん断応力伝達能力の増加分

余剰強度 Pr は接合面の靱性と関係がある。余剰強度 Pr と剥離荷重 P_f 及び損傷荷重 P_s には式(2)のような関係がある。

$$Pr = P_f - P_s \quad (2)$$

これらの性能指標の値を表6に示す。

試験では試験体には次のような破壊モードがみられた。

モード I: まず接合面に損傷が生じ、その後接合面が剥離する。このようなモードは試験体の中で最も多く、A1, A2, A3, B1, B2, C1, C2, 等のようなシヤーキが小さい表面状態にみられた。

モード II: まず接合面に損傷が生じるが、剥離せずその後 GRC パネルが破壊する。このモードは A4, B3 等に見られた。

モード III: まず接合面に損傷が生じるが、剥離せずその後コンク

表6 各表面状態の性能指標

記号	Ps (ton)	Pf (ton)	$\Delta\eta$	Pr (ton)
A1	4.80	5.63	0.37	0.83
A2	7.20	9.47	0.21	2.27
A3	8.27	10.43	0.11	2.16
A4	9.03	10.73*	0.00	1.70**
B1	7.20	7.83	0.40	0.63
B2	7.43	10.23	0.24	2.80
B3	7.80	11.93*	0.00	4.13**
B4	9.87	12.33*	0.00	2.46**
C1	5.67	6.10	0.32	0.43
C2	6.60	8.85	0.25	2.25
C3	9.06	13.57*	0.00	4.51**
H	6.53	10.10*	0.00	3.57**
O	×	9.93*	×	×
M	×	0.00	×	×
X	×	13.20*	×	×

*は最大荷重で剥離荷重の下限値を表す（剥離せず）

**は最大荷重より計算した余剰強度の下限値である

×は対応する現象がない

リートが破壊する。このモードは B4, C3, H 等に見られた。

モード IV: 接合面に損傷や剥離等が生じず、荷重が最大荷重になる時点で試験体全体が壊れる。このモードは O, X 等の試験体にみられた。

なお GRC パネル表面にシヤーキを設けなかった M の試験体は載荷を始める時点で全面が剥離してしまった。

2.4 表面状態と接合性能の関係

前に列挙したパラメーターを比較することにより各種表面状態の GRC パネルとコンクリートの接合性能を評価した。

接合面の損傷荷重 P_s について、O の試験体は最大荷重まで損傷や剥離が生じず、全体がコンクリートの試験体に近い挙動を示すので接合性の良い表面状態である。表面が平坦な M の試験体はほとんどせん断応力を伝達する能力を持たない。そのほかの表面状態については全体的にみて同じ断面形状のシヤーキは、シヤーキの幅が大きいほど接合面の損傷荷重 P_s が大きく、大きな荷重まで十分にせん断応力が伝達できる。

剥離荷重 P_f について、同じ断面形状のシヤーキはシヤーキの幅が大きいほど剥離荷重 P_f が大きい傾向がある。特に A4, B3, B4, C3, O, H 等の表面状態では荷重が最大荷重 P_{max} になるまで剥離という挙動が現れなかったため、剥離荷重 P_f は最大荷重 P_{max} よりも大きいと考えられる。

歪追従性の跳躍 $\Delta\eta$ について、同じ断面形状のシヤーキはシヤーキの幅が大きいほど歪追従性の跳躍 $\Delta\eta$ が小さく初期損傷の程度が軽いと考えられる。

余剰強度 Pr について、同じ断面形状のシヤーキはシヤーキの幅が大きいほど余剰強度 Pr が大きい傾向にあり、靱性がよい。ただし表4では終局破壊は接合面の剥離破壊ではなかった場合の余剰強度 Pr は最大荷重 P_{max} を剥離荷重 P_f として求めたもので、この場合の余剰強度 Pr は下限値である。

以上の諸性能を総合的に評価すると、O の表面状態は最大荷重まで損傷や剥離が生じず接合性能に最も優れた表面状態である。その

ほかの表面状態では、A4, B3, B4, C3, Hのような寸法の大きいシヤーキの場合は最大荷重まで損傷が生じたが剥離せず、また接合面の損傷荷重は比較的大きいので(Hはやや小さい)、接合性能の良い表面状態である。Mを除いたその他の表面状態はせん断応力伝達性能があるが、最大荷重まで損傷や剥離等の挙動を示したので、接合性能を持つ表面状態として利用するには部材の荷重状況や性能指標の数値を考える必要がある。

3. 接合面の解析的検討

3.1 接合面のモデル

試験では表面状態Mの試験体は荷重が0の時に剥離してしまったので、接合面のせん断応力の伝達はシヤーキが設けられた箇所に限って行われていると考えられる。したがって、数値解析を行うために幾何学的に接合面を直線と見なし、接合面にせん断応力を伝達する部分(応力伝達要素)とせん断応力を伝達しない部分(非応力

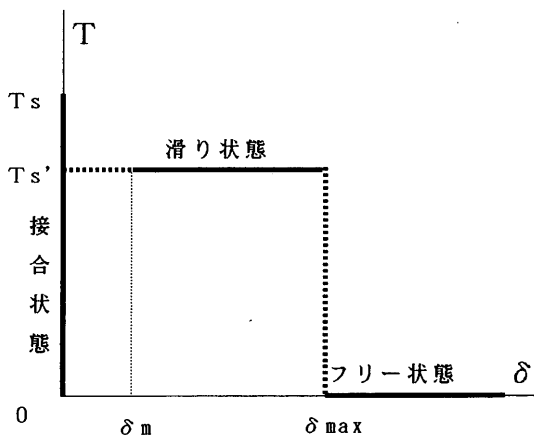


図6 応力伝達要素のモデル

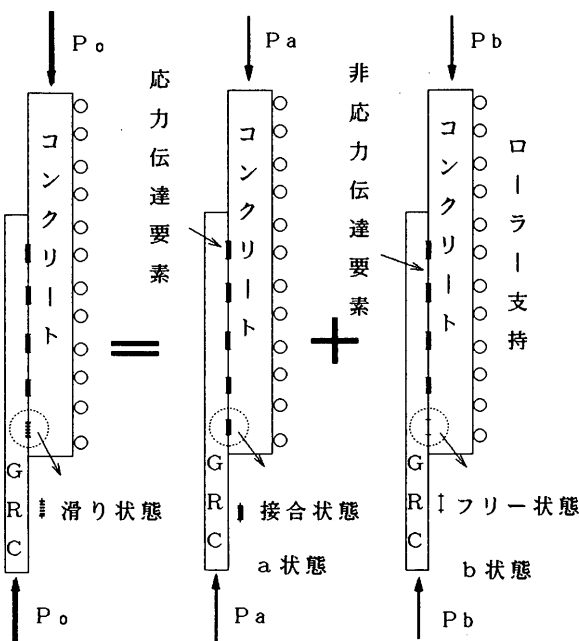


図7 試験体の状態

伝達要素)が交替に並ぶようなモデルを用いる。

応力伝達要素は荷重状況により図6に示すような3段階の状態を示す(図中、 T は応力伝達要素の伝達するせん断力を試験体の幅で割った相当せん断力、 δ は応力伝達要素の仮想滑り量)。相当せん断力がその極限值より小さいとき($T < T_s$)応力伝達要素の付近では損傷や塑性変形が生じないので応力伝達要素は滑らず、相当せん断力が変わっても仮想滑り量は0のままである。このとき応力伝達要素は接合状態にある。相当せん断力がその極限值に達すると($T = T_s$)、応力伝達要素付近の損傷(破壊プロセスゾーンの形成と拡大)により応力の分布が変わり、歪追従性の不連続性から応力伝達要素の相当せん断力は瞬間的に低減した($T = T_s'$)と考えられる。損傷状態にある応力伝達要素の挙動を詳細に捕らえるのは難しいので損傷による挙動を応力伝達要素の仮想滑り量 δ でマクロ的に表す。このとき応力伝達要素は滑り状態にある。その後応力伝達要素は相当せん断力を T_s' に保ったまま滑り、仮想滑り量がある限界値になると($\delta = \delta_{max}$)、損傷はさらに厳しくなり応力伝達要素はせん断応力を伝達する能力を失う。このとき応力伝達要素は非応力伝達要素と同じように相当せん断力が0で任意に滑ることができるフリー状態にある。

3.2 数値解析の方法

数値解析に二次元境界要素法を用いた⁸⁾。試験体の対称性から試験体を1/2に切断した部分を解析対象に使い、GRCとコンクリートの弾性係数をそれぞれ $2.63 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$ 、 $2.12 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$ としポアソン比をいずれも0.2とした。損傷が生じた後の試験体の状態は弾性解析で解明できないので、損傷が生じた後の試験体の状態は図7に示すように状態aと状態bの重ね合わせとして求める方法を用いた。

図5に示すような試験体の歪追従性 η の挙動は接合面の応力伝達要素の状態による。数値解析の結果(たとえば応力伝達要素の長さが10mmのとき、接合面において上から各応力伝達要素の伝達するせん断応力はそれぞれ全体の22%、10%、9%、18%、41%を占める)により、接合面下部の応力伝達要素は相当せん断力が最も大きく、接合面により伝達されるせん断応力の40%ぐらいを負担している。接合面の損傷や剥離はここから始まると考えられる。 $T < T_s$ のときせん断応力はスムーズに伝達されるので歪追従性 η はほとんど変わらない。その後 T は T_s に達すると瞬間的に T は T_s' に低減するので歪追従性 η の挙動として跳躍という現象が現れる。ここからの試験体の状態は図7に示すようにaとbの2つの状態の累加効果であり、aの状態は変わらず、荷重の増分はbの状態に寄与するので、歪追従性 η は徐々に増加する。さらに δ が δ_{max} に達すると剥離が生じる。

aの状態は歪追従性の跳躍から式(3)により求められる。歪追従性の跳躍を $\Delta\eta$ とし(このときの荷重は P_s である)、aとbの状態の荷重を P_a, P_b とする。またaとbの状態におけるGRCパネルとコンクリート表面の単位荷重における歪度をそれぞれ $\epsilon_{ca}, \epsilon_{cb}, \epsilon_{cb}, \epsilon_{cb}$ とすると次式がある。

$$\frac{\epsilon_{ca}P_a + \epsilon_{cb}(P_s - P_a)}{\epsilon_{ca}P_a + \epsilon_{cb}(P_s - P_a)} - \frac{\epsilon_{ca}}{\epsilon_{ca}} = \Delta\eta \quad (3)$$

これにより

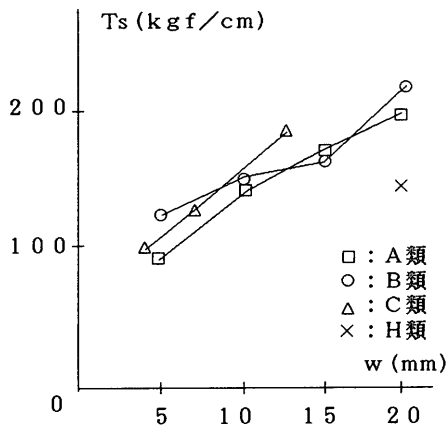


図8 Tsと幅wの関係

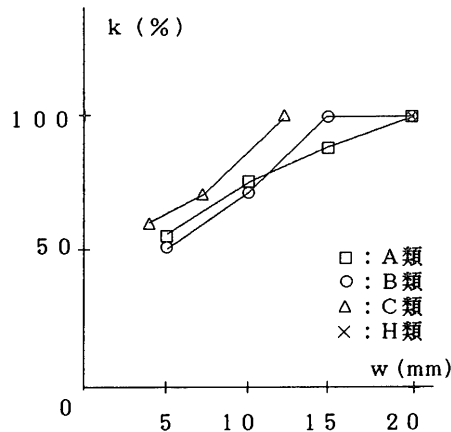


図9 kと幅wの関係

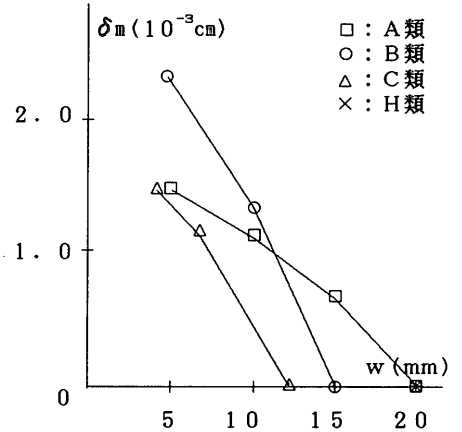


図10 delta_mと幅wの関係

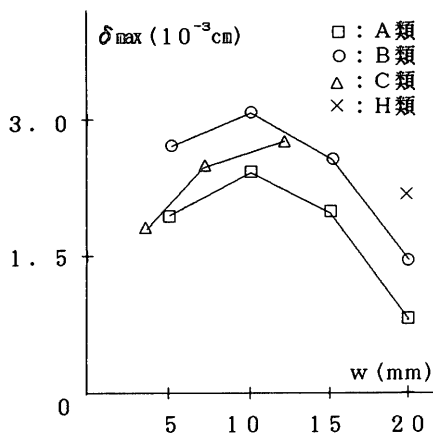


図11 delta_maxと幅wの関係

表7 シミュレーションの状況

状況の記号	Ts(kgf/cm)	Ts'(kgf/cm)	delta_max(10^-3 cm)
①	150	0	0
②	150	100	2.5
③	150	150	2.5
④	150	100	2.5

注：①②③は接合面の下部から破壊と仮定する
④は接合面の上部から破壊と仮定する

3.4 応力伝達機構のシミュレーション

応力伝達要素の長さを10mmとし、表7に示す①、②、③、④の4種類の状況について、終局破壊は接合面の剝離により生じるとして接合面の応力伝達機構のシミュレーションを行った。シミュレーションの結果を図12に示す。①の状況は応力伝達要素は相当せん断力TがTsになる時点でせん断応力伝達能力を一気に失う脆性破壊の場合(k=0)であり、歪追従性etaは最大荷重まで直線である。このような歪追従性etaの挙動は試験では見られなかった。②の状況は応力伝達要素は相当せん断力が低減する弾塑性破壊の場合(k=0.67)であり、歪追従性etaは最初に直線であるが、荷重がある値になると突然飛び上がりその後徐々に増加する挙動を示す。このような歪追従性etaの挙動はシャークの寸法が小さい表面状態に見られた。③の状況は応力伝達要素は相当せん断力が低減しない弾塑性破壊の場合(k=1)であり、歪追従性etaの挙動は最初に直線であり、荷重がある値になると徐々に増加する挙動を示す。このような歪追従性etaの挙動はシャークの寸法が大きい表面状態に見られた。④の状況は②の状況と同じように応力伝達要素の相当せん断力が低減する弾塑性破壊の場合(k=0.67)であるが、損傷や剝離等は上部の応力伝達要素に始まると仮定している。損傷や剝離等は下部の応力伝達要素に始まる場合歪追従性etaが飛び上がる(delta eta > 0)のと反対に歪追従性etaは飛び下りる(delta eta < 0)。歪追従性etaのこのような挙動は試験では観察されなかった。

なお数値解析では最大滑り量delta_maxが十分に大きい場合下部の応力伝達要素に損傷が生じてから剝離するまでの間に次の応力伝達要素に損傷が生じ、歪追従性etaは2回または数回跳躍することがあるが、試験ではそのような挙動は観察されなかった。

$$P_a = \frac{-\epsilon_{ca}\epsilon_{cb} + (\epsilon_{ca} + \Delta\eta\epsilon_{ca})\epsilon_{cb}}{(\epsilon_{ca} - \epsilon_{cb})\epsilon_{ca} - (\epsilon_{ca} + \Delta\eta\epsilon_{ca})(\epsilon_{ca} - \epsilon_{cb})} P_s \quad (4)$$

また総荷重をPoとすると、前述のようにPoはPaとPbの重ね合わせであるので式(5)に示すような関係がある。

$$P_b = P_o - P_a \quad (5)$$

3.3 各種応力伝達要素の性質

応力伝達要素の性質は試験体のPs, Pf, Delta eta等より逆解析して求められる。試験体の荷重が損傷荷重Psになる時点で下部の応力伝達要素の有効せん断力はTsになる。歪追従性etaが跳躍するのに対応してTはTsからTs'に低減する。それと同時に瞬間滑り量delta_mが生じる(図6の滑り量の点線の部分)。このとき歪追従性etaの跳躍Delta etaが大きいほどTの低減が著しく瞬間滑り量delta_mが大きい。Tの低減の度合いを低減比kで表すことが出来る。その後荷重PがPfになるまで滑り量は次第に大きくなり、荷重PがPfになる時点で滑り量は最大値delta_maxになり、Tは0になる。

$$k = Ts' / Ts \quad (6)$$

応力伝達要素の性質とその寸法形状との関係を図8から図11に示す。Tsとkはシャークの寸法が大きいほど大きくなり、delta_mはシャークの寸法が大きいほど小さくなる。delta_maxはシャークの寸法が大きくなるにつれて最初は大きくなるが、その後小さくなる。

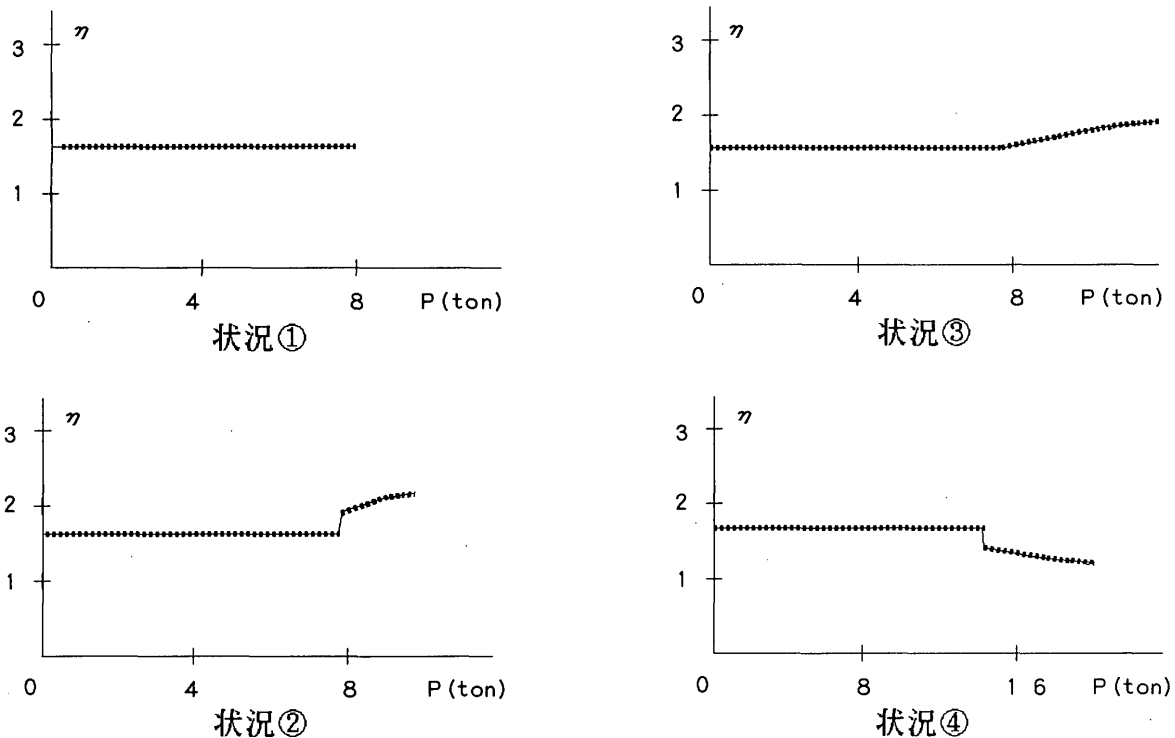


図12 シミュレーションの結果

4. まとめ

表面にシヤーキを付けた GRC パネルとコンクリートの接合面の応力伝達機構と接合性能を調べるために 2 面せん断試験と数値解析を行い、次のことが明らかになった。

- 1) GRC パネルとコンクリートの接合性能は試験体の荷重と変位関係から調べることができず、歪追従性により調べる方法が有効である。歪追従性の跳躍点や跳躍の正負等により接合面の接合状態及び破壊の特徴を調べることができる。
- 2) 接合面のせん断応力伝達状態は完全伝達状態と部分伝達状態があり、接合面に損傷が生じた後でもせん断応力を伝達し続けることが出来る。接合面のせん断強度を評価するのに単に試験体の最大荷重を基準とする方法は過大評価になる可能性があるので不十分であり、歪追従性より損傷荷重を考慮する必要がある。
- 3) 応力伝達要素は脆性的に破壊するのではなく、相当せん断力がある値になると滑りはじめ（相当せん断力の低減を伴う場合と相当せん断力の低減を伴わない場合がある）、滑り量がある特定値になると破壊するという弾塑性破壊の特徴を示す。接合面の接合状態を解明するのに接合面に応力伝達要素が並ぶような解析のモデルが有効であると考えられる。
- 4) パネル表面にシヤーキを付ける方法はパネルとコンクリートの接合性を改善する有効な方法である。接合性を高める効果はシヤーキの寸法形状と関係があり、筋状の凹凸より筋状に分布する円形凹みを付けた表面状態が良い。また断面形状が同じ筋状のシ

ヤーキでは寸法が大きいほど損傷荷重や剥離荷重が大きく接合性を高める効果がよい。

参考文献

- 1) 吉野敏郎, 羽木 宏, 馬場明生, 江口正昭, 楨谷栄次, 佐伯紀男: 押出成形セメント板を用いた打込み型枠工法の開発(その 1: 開発工法の特徴と実大施工実験の概要), 日本建築学会大会学術講演梗概集 A1, 1995, pp. 1245-1246
- 2) 馬場明生, 岸谷孝一, 上村克郎, 重倉祐光, 友沢史紀, 千歩 修: 自動化適合型鉄筋コンクリート構法の開発(1)研究計画と開発目標, 日本建築学会大会学術講演梗概集 A, 1991, pp.115-116
- 3) 中込 昭, 原田忠則, 関口尊文, 西川秀則: 押出し成形セメント板を用いた薄肉打込み型枠工法(その 1 実大施工実験による施工性および安全性の確認), 日本建築学会大会学術講演梗概集 A1, 1995, pp.1241-1242
- 4) 徳富久二, 久米国幹, 橋口 隆, 料所勝博, 小吉尚久, 増田 登: ガラス繊維補強コンクリート板を使用した打込型枠工法の開発について, 日本建築学会大会学術講演梗概集 A, 1991, pp.907-908
- 5) 武若耕司ほか: 塩害対策を目指した GRC 埋設型枠工法に関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.14, No.1, pp.143-148
- 6) 岡本享久, 長瀧重義: 断面修復したコンクリート部材の新旧接合面におけるせん断特性, 第45回セメント技術大会講演集, 1991, pp.744-749
- 7) 伊藤保雄ほか: 弾力性接着剤を用いたタイル張り工法に関する研究(その 1) タイルの裏足効果, 日本建築仕上学会1993年大会, pp.145-148
- 8) 寺崎俊夫, 瀬尾健二, 平居孝之: 残留応力のパラメーター, 溶接学会論文集, 第 5 巻, 第 4 号, 1987, pp.103-107

(1996年12月2日原稿受理, 1997年2月25日採用決定)