

プレキャスト部材圧着接合部のせん断滑りに関する実験的研究

小山内 裕*1・大島 幸*2・木村 義男*3・森山 毅子彦*4

1. はじめに

コンクリートやモルタルを介して圧着された平滑面接合部を有するプレキャストコンクリート (PCa) 部材の接合部において、滑りが生じる前のせん断耐力については、筆者らが前報^{1)~2)}でコンクリートの強度を考慮したせん断耐力の統一式を示した。また文献³⁾にも報告されている。接合面にシアキーを形成したり意図的に接合面を粗にした研究報告文は多数見られるものの、平滑面圧着接合の研究報告例はまれである。また、建物が巨大地震に遭遇した場合、終局時には接合部に滑り変位が生じせん断耐力が低下する可能性がある。しかしながら、滑り後の耐力および挙動についての研究報告例はない。

本報告はプレストレス力により圧着されたPCa部材のせん断実験を行い、滑りを生じた後のせん断耐力、接合面の摩擦係数、滑り変位量について推定方法を提案するものである。

2. 試験概要

2.1 供試体

モデル化は、図-1に示すように壁が付いた梁と柱の接合部を取り出し、1面せん断を想定し、場所打ちスラブのないものとした。図-1は前報^{4)~7)}で報告した載加

実験に使用した供試体図である。試験体の概略図を図-2に示す。接合面は平滑面とするため鋼製型枠仕上げとした。供試体は平置で組み立て、目地にはプレミックスタイプのモルタルを流し込んだ。試験体の概要は次のとおりである。

接合面の面積：550cm²(20×27.5cm)

目地の厚さ：1 cm

圧着力：10 ton (A-10: $\sigma_N=18.18(\text{kgf/cm}^2)$)

25 ton (A-25: $\sigma_N=45.45(\text{kgf/cm}^2)$)

40 ton (A-40: $\sigma_N=72.72(\text{kgf/cm}^2)$)

供試体は以下の順序で製作した。まず、供試体3体分の鋼製型枠を用いて柱側部材、梁側部材のセットを計15組製作した。次に接合面の目地幅が10mmとなるように両部材をセットして、プレミックスタイプ無収縮モルタルを目地部に充填した。本体コンクリートと、目地モルタルはいずれも横打ちで打設した。最後に本体コンクリートと目地モルタルの強度を確認してPC鋼棒により目地を介して圧着し、一体化した。接合面はサンダー掛けなどせず黒皮のままの無処理の鋼製型枠による平滑面をそのまま使用した。

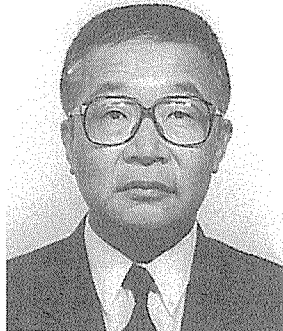
PC鋼棒は導入する圧着力に応じて、10tonf用に ϕ 17mm、25tonf用に ϕ 23mm、40tonf用に ϕ 26mmの3種類を使用した。供試体の製作に使用した材料を表-1に示す。純せん断試験では、データのばらつきが大きいので



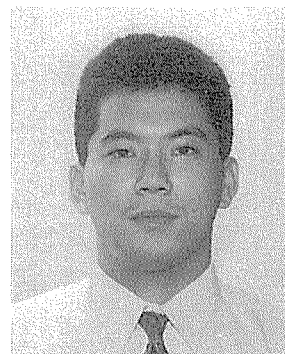
*1 Yutaka OSANAI
オリエンタル建設(株)
技術部
主任研究員



*2 Miyuki OOSHIMA
オリエンタル建設(株)
営業本部建築部
部長



*3 Yoshio KIMURA
オリエンタル建設(株)
建築支店
プレキャスト部
部長



*4 Kishihiko MORIYAMA
オリエンタル建設(株)
技術部
研究員

で、誤差を小さくするために各パラメーターごとに供試体を3体ずつ製作した。

2.1 加力計画

加力は1方向静的載荷とした。制御方法は変位制御として目地の中心位置に載荷した。加力にはアクチュエーターを使用し、変位制御により1方向単調載荷を行った。荷重が大きくなると接合面が滑り、同時に荷重はいったん低下するが、さらに加力すると荷重はある程度まで増加した。滑り変位が生じた後は何ら調整することなく、観察の後そのまま加力を続けた。

2.3 測定方法

測定の位置を図-2中に示す。測定には2方向亀裂ゲージを使用し、目地を挟む2点間の鉛直方向および水平方向の相対変位を測定した。また供試体の表面と裏面を測定し接合面の中心位置の挙動を把握できるようにした。亀裂ゲージは、鉛直方向および測定点が接近する変位の限界は2mmで、測定点が離れる方向の測定限界は3mmであるため、この限界に達した時点で2方向亀裂ゲージは取り外し、疲労試験機のストロークを載荷点の鉛直変位の目安として載荷した。

PC鋼棒にはロードセルを取り付けておき、載荷中の鋼棒の応力の変化を測定した。

3. 滑り後のせん断耐力推定式

図-3(a)～図-3(c)に、横軸を接合面の滑り変位量、縦軸をせん断応力度として、圧着力別に接合部の純せん断試験結果を示す。この図では滑り後の耐力を検討するため、滑りが生じた瞬間に低下したときの荷重は省略した。すなわち、滑り変位に伴うせん断耐力の上限を表す包絡線が示されている。図中の曲線は各々の実験値の回帰曲線である。すべての実験値は滑り量の増加に従い減少し、ある値に収れんする。このような曲線は次のような指数関数で表すことができる。

$$\tau = K_0 + K_1 \cdot \text{EXP}(-K_2 \cdot X) \dots\dots\dots(1)$$

ここでXは滑り変位量を示す。

各試験体の係数 K_0 、 K_1 、 K_2 およびプレストレスレベル σ_N を表-2に示す。またプレストレスレベルごとの係数の平均値とプレストレスの関係を図-4に示す。図中の直線は各係数の回帰値であり、次式で示される。

$$K_0 = -0.242 + 0.7208 \cdot \sigma_N \dots\dots\dots(2)$$

$$K_1 = 13.737 + 0.5449 \cdot \sigma_N \dots\dots\dots(3)$$

$$K_2 = 3.183 - 0.02371 \cdot \sigma_N \dots\dots\dots(4)$$

これらを式(1)に代入すると滑り後の耐力式(5)が得られる。

$$\tau = (-0.2420 + 0.7208 \cdot \sigma_N) + (13.737 + 0.5449 \cdot \sigma_N) \cdot \text{EXP}(- (3.183 - 0.02371 \cdot \sigma_N) \cdot X) \dots\dots\dots(5)$$

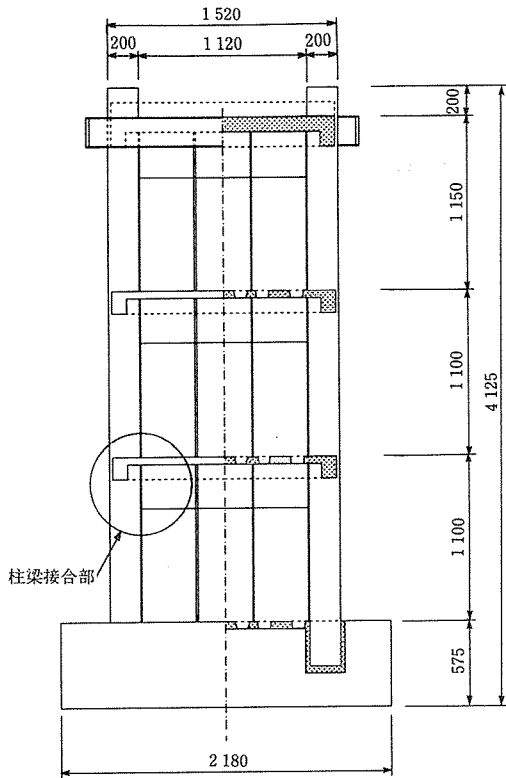


図-1 柱梁接合部位置

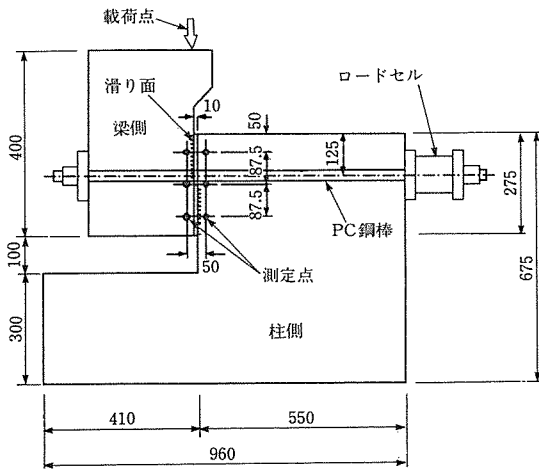


図-2 試験体図

表-1 コンクリートの材料試験結果

試験体	圧縮強度 σ_b (kgf/cm ²)	弾性係数 ($\times 10^3$ kgf/cm ²)
A-10	491	2.96
A-25	551	3.22
A-40	567	3.03
目地	626	2.31

単位: 1.0kgf=9.80665N
1.0kgf/cm²=9.80665 $\times 10^{-2}$ MPa

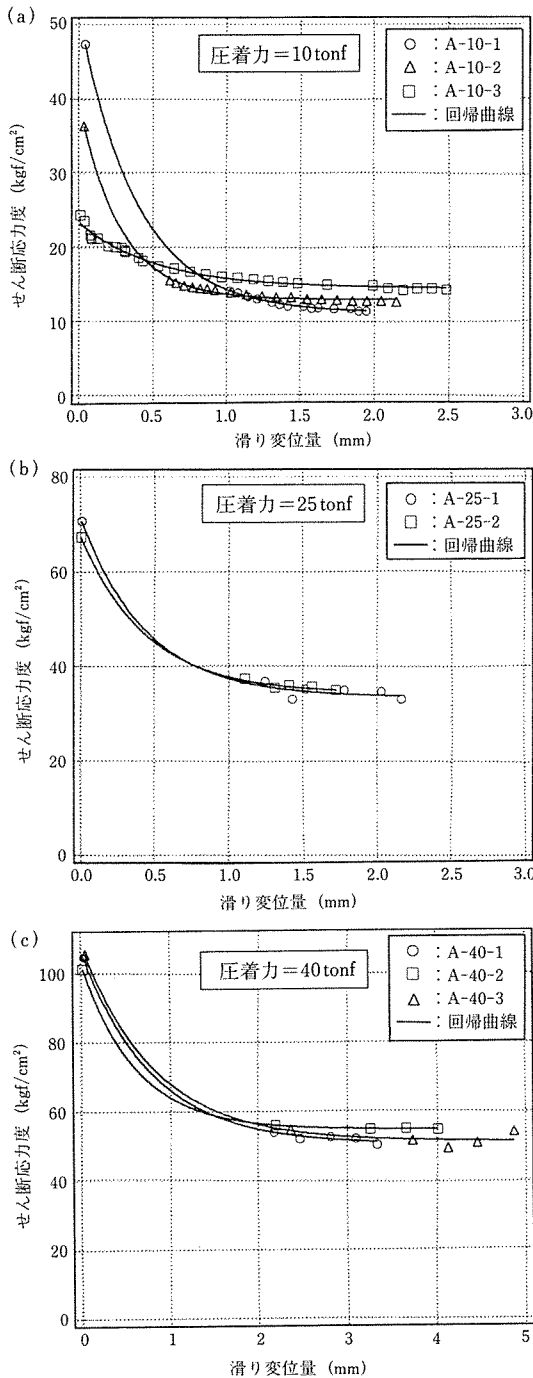


図-3 せん断応力度と滑り変位位置

この式はプレストレスおよび滑り量の影響を考慮したせん断力の上限值を表現している。ここで $X=0$ とすれば式(5)は $\tau = 13.495 + 12.657 \cdot \sigma_N$ となり、前報²⁾で報告した最大せん断耐力式にほぼ一致する。

4. 滑り後の摩擦係数推定式

弾性梁が曲げ変形を生じる場合、荷重(P)の大きさと梁の曲げ剛性に応じた変位量(δ)の積で表される弾性エネルギー($E = P \cdot \delta / 2$)が梁に蓄積される。荷重が

表-2 耐力式の係数

試験体	K_0	K_1	K_2	σ_N (kgf/cm ²)
A-10-1	11.033	40.534	2.534	18.71
A-10-2	12.857	26.752	3.586	18.67
A-10-3	14.405	8.947	1.875	18.73
平均	12.765	25.411	2.665	18.70
A-25-1	33.532	38.262	2.227	46.02
A-25-2	34.340	33.493	2.253	46.25
平均	33.936	35.878	2.240	46.14
A-40-1	50.129	57.326	1.264	73.65
A-40-2	54.525	49.302	1.637	72.80
A-40-3	51.005	58.490	1.227	73.02
平均	51.886	55.039	1.376	73.16

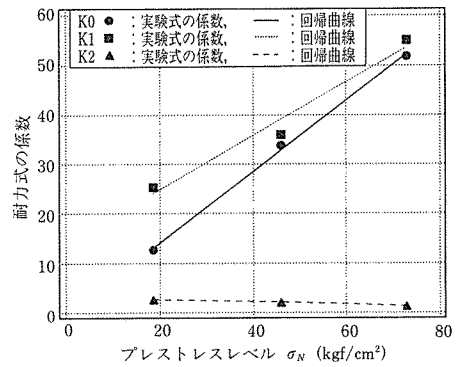


図-4 耐力式の係数

接合部のせん断耐力を超えると、接合面に滑り変位が生じる。荷重が積載荷重であれば滑り挙動は停止することなく、接合部は破壊されるが、地震荷重により生じる部材応力のように応力が変位量に依存する場合は、滑り量の増加に伴い部材応力は減少し、滑りは停止する。この場合の接合部のモデル、および載荷点の挙動を各々を図-5および、図-6に示す。載荷点において荷重の低下($P_0 \rightarrow P_1$)により減少した弾性エネルギー(E_1)は図-6のハッチ部分で示され、次式で表される。

$$E_1 = (P_0 + P_1) \cdot X_1 / 2 \dots \dots \dots (6)$$

圧着面にはプレストレス(P_{pre})が作用している。ある滑り変位において摩擦力が一定であると仮定すると摩擦力の成した仕事量(E_2)は

$$E_2 = \mu \cdot P_{pre} \cdot X_1 \dots \dots \dots (7)$$

で表される。 μ は接合面の摩擦係数である。ここで運動エネルギーや発生する音、熱などのエネルギーを無視すれば、2つのエネルギー量は等しく、式(6)、式(7)を用いて摩擦係数(μ)を求めることができる。

$$\mu = (P_0 + P_1) / (2 \cdot P_{pre}) \dots \dots \dots (8)$$

求めた各供試体の摩擦係数と接合面の滑り変位量の関係を図-7に示す。図中の曲線は各供試体の実験値の回帰曲線である。実験値から得られる摩擦係数値は一定ではなく、滑り変位量に応じて初期値から徐々に低下し、ある値に収れんするので式(1)と同様のe関数式で

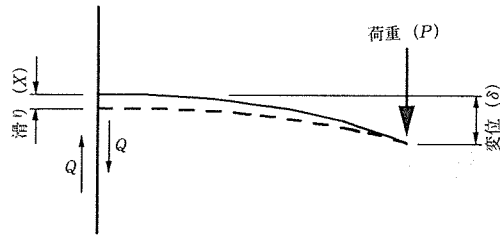


図-5 接合部のモデル

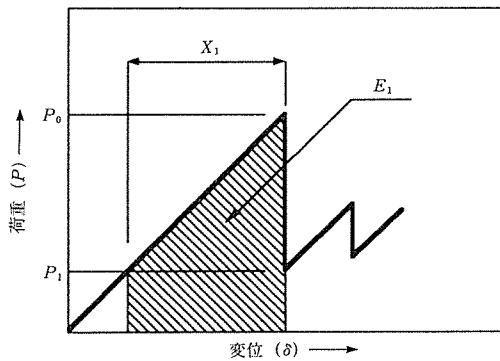


図-6 載荷点の荷重と変位量の関係

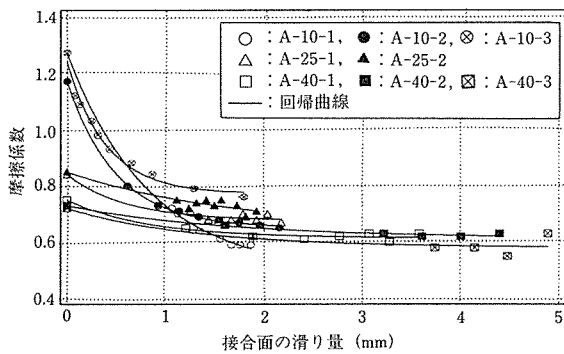


図-7 摩擦係数と接合面の滑り変位量

近似する。

$$\mu = K_0 + K_1 \cdot \text{EXP}(-K_2 \cdot X) \dots\dots\dots (9)$$

式の係数とプレストレスレベルを表-3に示す。これらの係数のうち K_0 はすべての供試体の実験値が取れんする値であるので実験値の平均とする。プレストレスレ

表-3 摩擦係数式の係数

試験体	K_0	K_1	K_2	$\sigma_N(\text{kgf/cm}^2)$
A-10-1	0.492	0.778	1.192	18.71
A-10-2	0.651	0.518	2.009	18.67
A-10-3	0.772	0.466	2.519	18.73
平均	0.638	0.587	1.907	18.70
A-25-1	0.766	0.163	1.666	46.02
A-25-2	0.644	0.205	0.582	46.25
平均	0.661	0.184	1.124	46.14
A-40-1	0.615	0.136	1.220	73.65
A-40-2	0.613	0.117	0.608	72.80
A-40-3	0.581	0.139	0.783	73.02
平均	0.603	0.131	0.870	73.16

ベルと係数 K_1 , K_2 の関係を図-8に示す。曲線は実験値の回帰曲線であり式(9)と同様の e 関数式で近似し、各係数を求めると摩擦係数(μ)は次式となる。

$$\mu = 0.634 + (0.123 + 1.793 \cdot \text{EXP}(0.0409 \cdot \sigma_N)) \cdot \text{EXP}((0.747 + 2.454 \cdot \text{EXP}(-0.0227 \cdot \sigma_N)) \cdot X) \dots\dots (10)$$

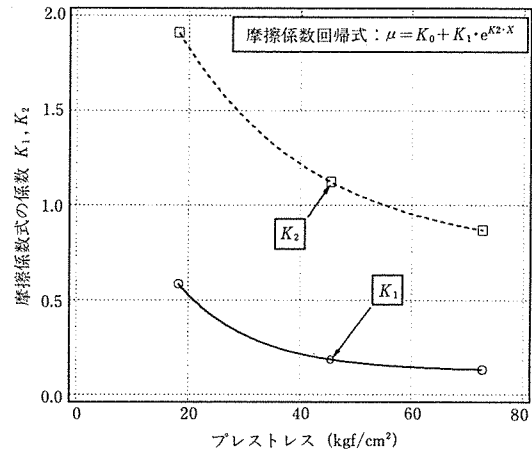


図-8 摩擦係数式の係数

5. 滑り変位挙動の推定

式(5)を滑り変位量(X)における最大せん断耐力とし、荷重が最大せん断耐力(τ_0)に達した時点で滑り変位が生じるものとして滑り変位挙動を推定する。滑りが停止するせん断応力度($\tau_1 = Q_1/A$)および各滑り変位量(X_1)は式(10)により求められる摩擦係数(μ)を用いて算定する。 E_1 と E_2 が等しいことから式(6)、式(7)、式(8)を解いて P_1 および X_1 が得られる。

$$P_1 = 2 \cdot \mu \cdot P_{pre} - P_0 \dots\dots\dots (11)$$

$$X_1 = (P_0 - P_1) / (2 \cdot \mu \cdot P_{pre} \cdot k) \dots\dots\dots (12)$$

ここで、 k は載荷点の荷重と鉛直方向変位に関する剛性で、 $k = (P_0 - P_1) / X_1$ である。これらの式を用いて、接合面のせん断耐力、滑り変位量および滑り変位により低下する荷重を順次算定する。算定されたせん断応力度と滑り変位量の関係を図-9に示して実験値と比較する。また「PC構造設計指針作成のための共同研究」の「構造性能評価WG」において実施(豊橋技術科学大学担当)された実験値の提供を受け、計算値と比較検討した。その結果を図-10に示す。計算値は実験値をよく表現している。

6. まとめ

今回の実験の結果から、接合部の挙動には、プレストレスレベルと滑り変位量が影響することがわかった。モルタルを介して圧着された平滑面接合部を有するPCa部材が、純せん断力を受ける場合の接合部の挙動を推定す

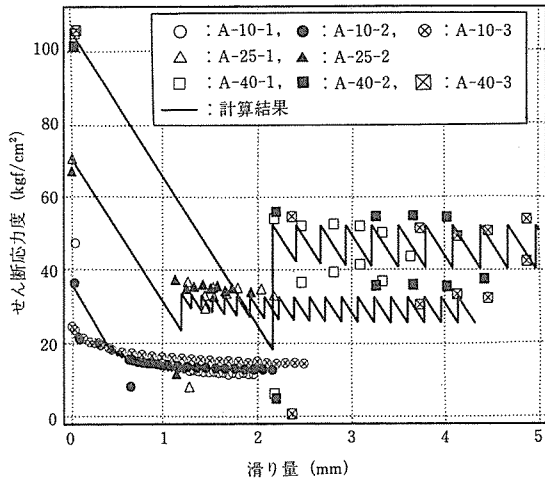


図-9 滑り変位量荷重関係の計算値と実験値の比較

る方法を提案した。

- 1) 滑り変位が生じた接合面の摩擦係数は、滑り変位量に応じて低下してある値に収れんし、プレストレスレベルを考慮してせん断耐力を式(5)で定式化した。
- 2) 滑り変位が生じた接合面の摩擦係数は、滑り変位量に応じて低下してある値に収れんし、プレストレスレベルを考慮して摩擦係数を式(10)で定式化した。
- 3) 今回の実験結果に基づき、エネルギー一定則により、純せん断力を受けるプレキャスト圧着接合部の滑り量と低下する荷重を推定する方法を提案した。

謝辞：本研究は(社)建築研究振興協会に設置された「プレキャスト耐震壁の性能検討委員会（委員長：渡邊史夫，委員：岡本伸，勅使川原正臣，加藤博人，立花正彦，世良耕作，小幡学）」にて実施されました。委

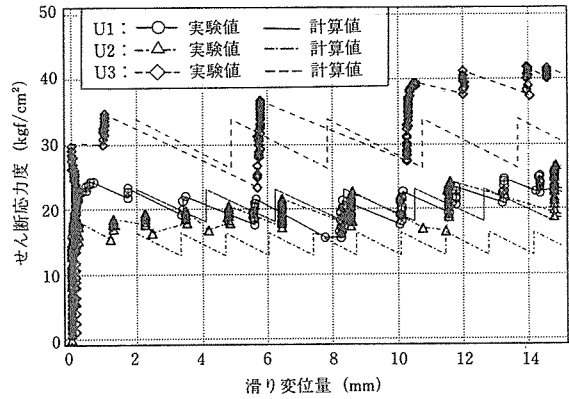


図-10 他の実験データとの比較

員の方々には多くの貴重なご意見を頂きました。ここに感謝の意を表します。また実験データの提供申し入れに快く応じて下さった豊橋技術科学大学の田中助教授に御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 森山毅子彦ほか：付帯柱と絶縁したプレキャスト壁の耐震性に関する研究-その5 柱梁接合部のせん断実験の概要-, 建築学会大会学術講演'96梗概集C-2 構造IV pp.903-904
- 2) 小山内裕ほか：付帯柱と絶縁したプレキャスト壁の耐震性に関する研究-その6 柱梁接合部のせん断実験の結果-, 建築学会1996年度大会学術講演'96梗概集C-2 構造IV pp.905-906
- 3) 岡本晴彦ほか、プレキャストコンクリート柱・梁接合部の圧着接合に関する研究-接合面のせん断伝達に関する実験結果, 建築学会1993年度大会学術講演梗概集C構造II pp.1063-1064
- 4) 立花正彦他：付帯柱と絶縁したプレキャスト壁の耐震性に関する実験的研究-その1 供試体および加力方法-, 建築学会大会学術講演'94梗概集9月 pp.1029-1030
- 5) 小山内裕ほか：同-その2 荷重-変位関係および破壊性状-, 建築学会大会学術講演'94梗概集9月 pp.1031-1032
- 6) 小山内裕ほか：同-その3 終局耐力の算定方法-, 建築学会大会学術講演'95梗概集C-2 構造IV pp.957-958
- 7) 森山毅子彦ほか：同-その4 終局耐力の算定方法-, 建築学会大会学術講演'95梗概集C-2 構造IV pp.959-960

【1997年5月9日受付】