

# 極低強度コンクリートの用いられた RC 梁の 耐力と変形能

林杰\*<sup>1</sup>・永坂具也\*<sup>2</sup>

## Loading Capacity and Deformability of R/C Beams with Extremely Low Strength Concrete

by

Jie LIN and Tomoya NAGASAKA

(Received on Sep. 30, 2004, accepted on Jan. 25, 2005)

### Abstract

The purpose of this study is to experimentally investigate the bearing capacity and deformation capability of reinforced concrete beams with extremely low strength concrete, and to examine the applicability of current methods for estimating various bearing capacities and ductility. From the test results, when the concrete strength was significantly low, the deformation capability was poor, even though flexural yielding occurred. The cross-sectional analysis, which is based on Bernoulli's principle for plane sections and the material characteristics, showed that the relationship between the bending moment and curvature of the beam section could be properly evaluated as well as the bending moment capacity and deformability. Also, the shear capacity was markedly overestimated by Arakawa's equation, which has been conventionally used in seismic diagnosis. On the other hand, according to the shear capacity equation adopted in the "Ductility Design Guideline" by AIJ, the shear capacity was conservatively or rather too conservatively estimated.

**Keywords:** extremely low strength concrete, seismic diagnosis, reinforced concrete beam, loading capacity, deformability.

### 1. はじめに

阪神淡路大震災以降、特に公共建築物を中心として耐震診断が数多く実施されてきたが、RC 造の場合、コンクリートのコア抜き取り試験の結果から圧縮強度が 10MPa 前後となる物件も少なくないことが報告されている<sup>1)</sup>。そのような建物の耐震診断・補強に際しては、コンクリート強度の極めて低い RC 部材の耐力と変形能を適正に評価できることが前提となるが、当然ながら、部材の耐力や変形能を推算する既往の提案式はいずれも適用範囲外である。

そのような背景から、本研究は、特に低強度(極低強度)のコンクリートが用いられた RC 梁・柱の耐力と靱性を評価する研究の一環における第一段階として、RC 梁に限定して耐力と変形能を実験的に明らかにした上で、既往の耐力式および変形能の評価方法の適用性について検討するものである。

### 2. 実験概要

#### 2.1 試験体

本研究における実験は平成 15, 16 年度の 2 年度にわたり、16 年度の実験は 15 年度の実験結果に基づいてさらに一般化・発展させる検討を行ったものである。Fig. 1, 2 には代表的な試験体

の形状・配筋詳細を示す。試験体は Fig. 1, 2 に示すように、試験区間に一定の曲げモーメント分布を与える曲げ試験用(B-Type)と逆対称曲げモーメント分布を与えるせん断試験用(S-Type)の 2Types を計画した。いずれの試験体も、試験区間内では、梁幅 250mm×梁せい 400mm の長方形断面である。平成 16 年度の試験体は、試験区間よりも早期の損傷を避けるため、試験区間外の幅を 450mm に拡大した(平成 15 年度の試験体は、試験区間外の幅は 250mm である)。試験体の総数は B-Type12 体、S-Type12 体の計 24 体である。B-Type では引張鉄筋 4-D16 とし、引張鉄筋比は 0.91% である。また、試験区間のあばら筋は 2-D10 @ 200 としている。T 型梁の負曲げモーメント時ではスラブ筋が協力して引張鉄筋量が多くなるために、圧縮側コンクリートが引張鉄筋の降伏前に圧潰する恐れがあり、そのような状況に対応する試験体として BT10, BT05 の試験体を用意した。B-Type の変動要因はコンクリート強度と複筋比である。他方、S-Type の変動要因にはコンクリートの目標圧縮強度 21, 10, 5(MPa)の 3 水準、せん断スパン 350mm, 525mm, 700mm の 3 水準、試験区間のあばら筋 2-D10 の間隔 200, 150, 100mm の 3 水準、主筋 D16 の一段配筋、二段配筋の 2 水準である。試験体一覧を実験時の材料試験により得られたコンクリートの圧縮強度と併せて Table 1 に示す。

\* 1 工学研究科建築学科専攻研修員

\* 2 工学部建築学科 教授・工博

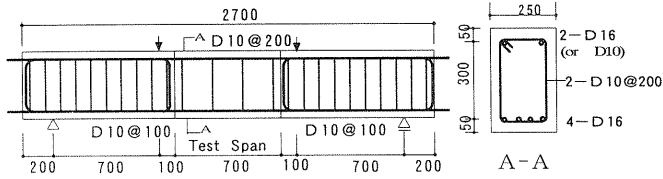


Fig. 1 Details of B-Type specimens

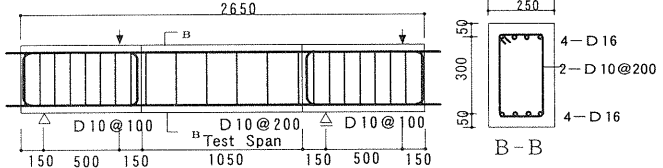


Fig. 2 Details of S-Type specimens

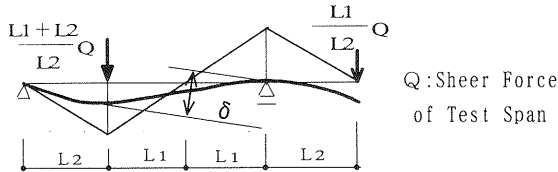


Diagram of bending moment in thin line, and flexure curve in thick line.

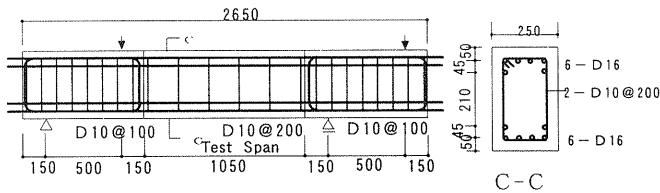


Fig. 2 Details of S-Type specimens

(Unit:mm)

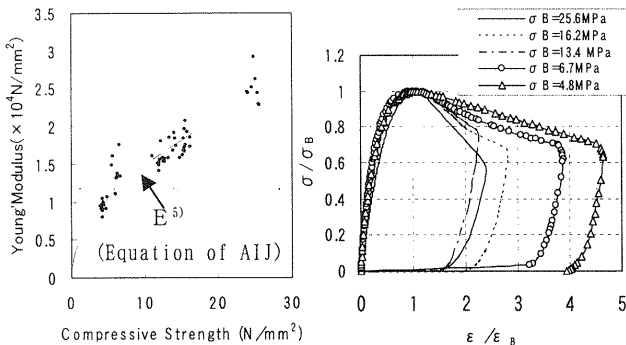


Fig. 3 Characteristics of concrete

2.2 実験方法

荷重方法については Fig. 1, 2 に示すが、いずれの試験も単調漸増荷重とし、明らかな耐力低下が生じるまで荷重を継続するものとした。測定に関しては、逐次、ひび割れ観測をするほか、Fig. 1 に示すように、曲げ試験体では、平成 15 年度の場合、荷重 P、荷重点と中央点のたわみを、平成 16 年度の場合、荷重 P、中央点の純たわみを測定した。他方、せん断試験体では、Fig. 2 により、試験区間のせん断力 Q と相対たわみ δ を測定した。また、主筋とあばら筋(せん断試験のみ)のひずみ、および圧縮縁のコンクリートのひずみ(曲げ試験体のみ)を電気抵抗ひずみゲージにより測定した。

2.3 材料の力学特性

$$E = 2100 \times \left(\frac{r}{23}\right)^{1.5} \times (\sigma_B/20)^{-0.5} \quad [r=23]$$

σ<sub>B</sub>: Compressive Strength, ε<sub>B</sub>: Strain at Compressive Strength

Table 1 Summary on test specimens

| B-Type | Longitudinal reinforcement         |                                |                                 |                            | Stirrup         |                         | Compressive Strength of Concrete |                    |      |
|--------|------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|----------------------------|-----------------|-------------------------|----------------------------------|--------------------|------|
|        | Compressive reinforcement (SD295A) | Tensile reinforcement (SD295A) | Tensile reinforcement ratio (%) | Double reinforcement ratio | Bar arrangement | reinforcement ratio (%) | Objective (MPa)                  | Experimental (MPa) |      |
| 2003   | B21                                | 2-D16                          | 4-D16                           | 0.91                       | 0.5             | 2-D10 @200              | 0.29                             | 21.0               | 15.0 |
|        | B10-1                              |                                |                                 |                            |                 |                         |                                  | 10.0               | 12.7 |
|        | B10-2                              |                                |                                 |                            |                 |                         |                                  | 10.0               | 12.4 |
|        | B05-1                              |                                |                                 |                            |                 |                         |                                  | 5.0                | 4.5  |
|        | B05-2                              |                                |                                 |                            |                 |                         |                                  | 5.0                | 4.5  |
| 2004   | B21N                               | 2-D10                          |                                 |                            |                 |                         |                                  | 21.0               | 24.8 |
|        | B10N                               |                                |                                 |                            |                 |                         |                                  | 10.0               | 15.1 |
|        | B05N                               |                                |                                 |                            |                 |                         |                                  | 5.0                | 6.2  |
|        | BT10                               |                                |                                 |                            |                 |                         |                                  | 10.0               | 15.1 |
|        | BT05                               |                                |                                 |                            |                 |                         |                                  | 5.0                | 6.3  |

| S-Type | Span-to-depth ratio | Stirrup         |                         | Tensile reinforcement ratio (%) | Compressive Strength of Concrete |                    |
|--------|---------------------|-----------------|-------------------------|---------------------------------|----------------------------------|--------------------|
|        |                     | Bar arrangement | reinforcement ratio (%) |                                 | Objective (MPa)                  | Experimental (MPa) |
| 2003   | 1.31                | 2-D10@200       | 0.296                   | 0.91                            | 21.0                             | 15.2               |
|        |                     |                 |                         | 0.91                            | 10.0                             | 12.1               |
|        |                     |                 |                         | 0.91                            | 5.0                              | 4.2                |
|        |                     |                 |                         | 0.91                            | 10.0                             | 12.1               |
|        |                     |                 |                         | 0.91                            | 5.0                              | 4.2                |
|        |                     |                 |                         | 0.91                            | 10.0                             | 12.2               |
|        |                     |                 |                         | 0.91                            | 5.0                              | 4.2                |
| 2004   | 0.88                | 2-D10@200       | 0.296                   | 1.36                            | 21.0                             | 24.5               |
|        |                     |                 |                         | 1.36                            | 10.0                             | 15.1               |
|        |                     |                 |                         | 1.36                            | 5.0                              | 6.2                |
|        |                     |                 |                         | 0.91                            | 21.0                             | 25.5               |
|        |                     |                 |                         | 0.91                            | 10.0                             | 15.1               |
|        |                     |                 |                         | 0.91                            | 10.0                             | 13.2               |
|        |                     |                 |                         | 0.91                            | 10.0                             | 15.8               |

Table 2 Mixing of concrete

| Objective strength (MPa) | Objective slump (cm) | Water-cement ratio (%) | Maximum grain size of coarse aggregate (mm) | Sand percentage (%) | Water content per unit volume of concrete (kg/m <sup>3</sup> ) |        |                |                  |           |      |
|--------------------------|----------------------|------------------------|---|---------------------|--|--------|----------------|------------------|-----------|------|
|                          |                      |                        |   |                     | Water  | Cement | Fine aggregate | Coarse aggregate | Admixture |      |
| 2003                     | 21                   | 18                     | 70.3  | 20                  | 53.1   | 182    | 259            | 951              | 865       | 3.32 |
|                          | 10                   | 18                     | 84.5  | 20                  | 54.2   | 178    | 211            | 995              | 865       | 2.70 |
|                          | 5                    | 18                     | 140.0                                       | 20                  | 53.0   | 168    | 120            | 1086             | 880       | 1.28 |
| 2004                     | 21                   | 18                     | 61.5  | 20                  | 50.6   | 181    | 295            | 891              | 897       | 4.41 |
|                          | 10                   | 18                     | 84.5  | 20                  | 54.4   | 178    | 211            | 1000             | 865       | 2.70 |
|                          | 5                    | 18                     | 140.0                                       | 20                  | 56.0   | 168    | 120            | 1086             | 880       | 1.28 |

Table 3 Properties of steel bars

| Objective series specimen | Type        | Young's modulus (MPa) | Yield strength (MPa) | Tensile strength (MPa) | Elongation (%) |
|---------------------------|-------------|-----------------------|----------------------|------------------------|----------------|
| B, S                      | D10(SD295A) | 168000                | 347                  | 516                    | 17.7           |
| B, S (2003)               | D16(SD295A) | 186000                | 367                  | 533                    | 17.3           |
| S (2004)                  | D16(SD345)  | 189000                | 381                  | 569                    | 22.9           |

Note: B=B-Type specimens, S=S-Type specimens

コンクリートの目標強度ごとの配合を Table 2 に示し、使用した鉄筋の力学特性を Table 3 に示す。Fig.3 には代表的なコンクリートテストピースの力学特性を示す。Fig.3 示すにより、強度が低くなるとヤング係数も小さくなり、低強度コンクリートに対しても 1991 年建築学会 RC 規準による式<sup>3)</sup>にしたがう傾向が示された。また、同図により、圧縮強度以降の下降域の下降勾配は強度が小さいほど小さくなる傾向が示された。

3. 実験結果と考察

3.1 破壊性状

(1) 曲げ試験体 (B-Type)

Fig. 4 には B-Type の最終ひび割れ図の例を示す。BT05, B05-1, B05-2 を除いていずれも曲げひび割れが試験区間において引張側の下部から入り、徐々に上方に伸びると共に、引張鉄筋が降伏して最大耐力に達した。その後、ひび割れ幅を拡大していく過程で圧縮鉄筋の降伏を契機にコンクリートが圧潰して明らかな耐力低下を生じた。そのような破壊は引張降伏破壊と考えられる。BT05 では圧縮鉄筋が先に降伏し、直後に最大耐力

に達し、最大耐力時には引張鉄筋も降伏した。よって BT05 で釣り合い破壊に近い状況であったと思われる。BT05 の破壊は圧縮降伏破壊と考えられる。複筋比の小さい試験体に関してはコンクリート強度が低いと圧縮鉄筋が引張鉄筋より先に降伏し、急激な耐力低下を生じた恐れがある。曲げ破壊した試験体ではコンクリート圧縮強度が低いほど圧潰したコンクリートの占める面積も大きくなった。コンクリート強度の特に低い B05-1, 2 では、引張鉄筋のひずみが降伏ひずみの 2/3 程度に達するあたりで試験区間外のせん断破壊により耐力を失った。

(2)せん断試験体(S-Type)

Fig.5 には S-Type の最終ひび割れ図を示す。せん断試験による場合、いずれも曲げひび割れ、せん断ひび割れの順に生じた。S2120, S1020, S1015 ではあばら筋の降伏と付着割裂ひび割れの発生を経てせん断破壊したが、S21-525 では付着割裂ひび割れが発生せずにあばら筋が降伏してせん断破壊し、S10-525 ではあばら筋降伏せずに付着割裂ひび割れの発生を経てせん断破壊した。よってコンクリート強度が低いと付着割裂ひび割れの発生する可能性が多かった。S10-350 では引張鉄筋が降伏し、付着割裂ひび割れの発生とあばら筋の降伏を経てせん断破壊した。しかし、S10-350 ではせん断ひび割れが横切ったあばら筋も降伏したことから、S10-350 の破壊にはほぼせん断耐力に達していたと考えられる。S10-700 では引張鉄筋が降伏し、あばら筋が降伏せずに材端部において試験区間外定着破壊を生じた。コンクリート強度の低い S0520, S0515, S0510 では早期にせん断ひび割れが発生し、伸展してコンクリートの圧潰、付着割裂ひび割れを生じて耐力を失った。SD05-525 では引張鉄筋、あばら筋共に降伏せずに急に長いひび割れが中央から斜めに生じて中央のコンクリートが圧潰して耐力を失った。よって、SD05-525 ではコンクリート強度が低いことから、せん断圧縮破壊を招いたと考えられる。SD10-525, SD21-525 では引張鉄筋が降伏し、あばら筋の降伏と付着割裂ひび割れの発生を経てせん断破壊した。ただし、SD10-525 では端部のうち一本の主筋に降伏が見られたが、曲げ降伏する前にせん断破壊した。一方、SD21-525 では両端の一段筋は共に降伏したが 2 段筋は降伏に至らずせん断破壊した。ひび割れ状況は、SD10-525, SD21-525 と比較すると SD05-525 では細かいひび割れが少なかった。

3.2 曲げ試験による耐力と変形

(1)変形性状

最もコンクリートの強度が低い B05-1 と B05-2 は早期に試験区間外でせん断破壊し、耐力、変形能力ともに特に低い結果となった。B05-1, 2 の初期剛性はその他の曲げ試験体と比較すると顕著な差が現れた。よって、B05-1, 2 試験体には試験区間外のせん断破壊が抑えられたとしても引張鉄筋の降伏前に圧縮側のコンクリートが圧潰するものと推察される。曲げ降伏した試験体について曲げモーメントと曲率の関係を Fig.6 に示した。同図中、「試験体のたわみによる」としたものは、純曲げたわみを一定曲率で与えるたわみに等値して求めたものである。他方、「断面の鉄筋ひずみによる」としたものは、曲率を同一断面に位置する上下の主筋のひずみ値から平面保持仮定して求めたものである。実験結果の両者は同様の性状を呈している。また、鉄筋とコンクリートの応力度-ひずみ関係に、それぞれ、完全弾塑性関係、Smith&Young の  $e^4$  関数(本研究において、コンクリートの応力度-ひずみ関係は圧縮強度まで  $e$  関数曲線に近似し、圧縮強度以降、直線に近似した)を用いた断面解析により得られた関係は、曲げ剛性の変化がよく捉えられていると言えよう。解析結果は実験結果と比較すると同じ曲率における曲げモーメントは小さくなるが同様の性状を呈示するこ

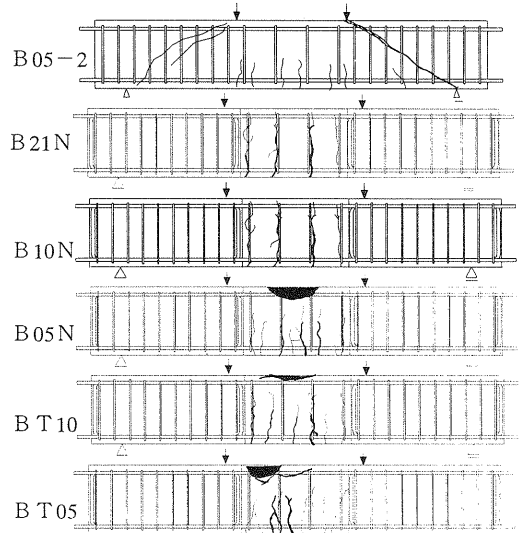


Fig.4 Crack patterns observed in B-Type specimens

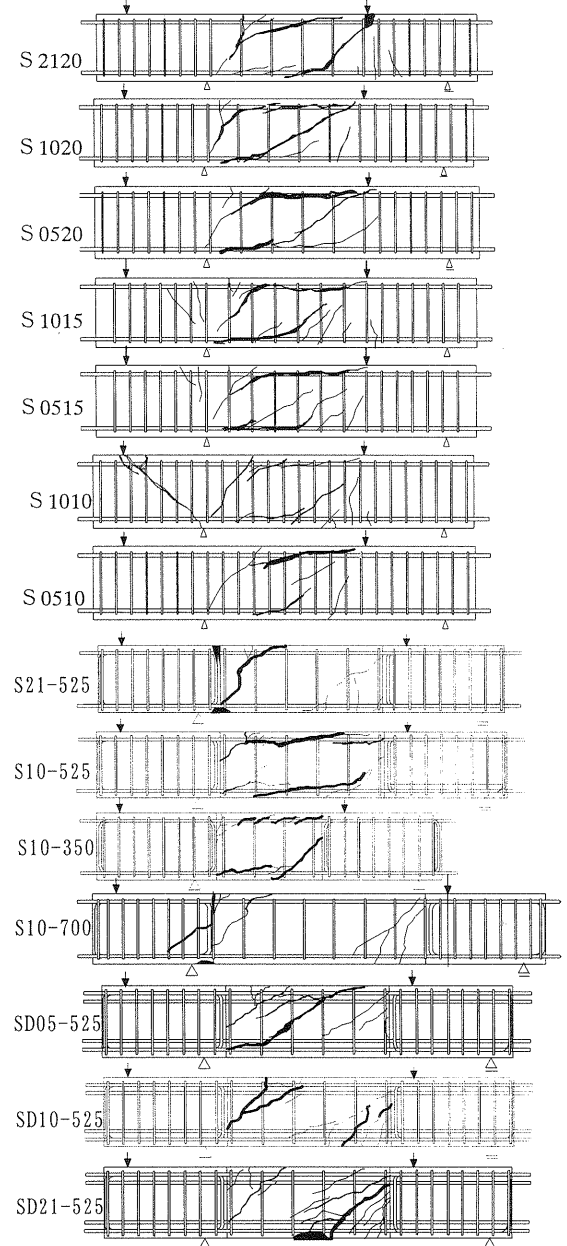


Fig.5 Crack patterns observed in S-Type specimens

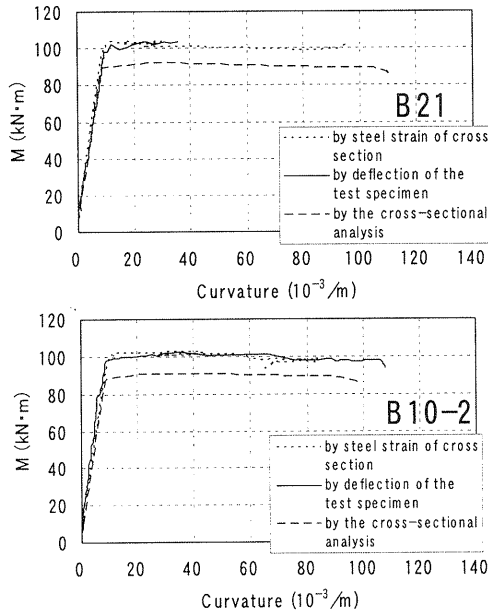


Fig.6 Relationship between bending moment and curvature (1)

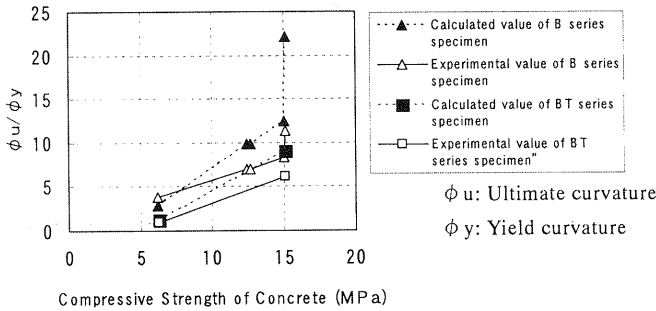


Fig.7 Relationship between  $\phi_u/\phi_y$  and compressive strength of concrete

Table 4 Comparison of deformation capacity in moment and curvature

| Specimen | Yield strength, kN·m |             | Yield curvature $\phi_y$ , 1/m |             | Ultimate curvature $\phi_u$ , 1/m ( $\phi_u/\phi_y$ ) |              | Compressive strength of concrete (MPa) |
|----------|----------------------|-------------|--------------------------------|-------------|---|--------------|--|
|          | Experiment           | Calculation | Experiment                     | Calculation | Experiment  | Calculation  |  |
| B21N     | 108.0                | 94.2        | 0.019                          | 0.0079      | 0.051(2.47)*  | 0.294(37.20) | 24.8                                   |
| B10N     | 109.0                | 91.2        | 0.008                          | 0.0086      | 0.090(11.30)  | 0.190(22.10) | 15.1                                   |
| B05N     | 102.0                | 86.5        | 0.009                          | 0.0107      | 0.033(3.83)   | 0.031(2.90)  | 6.2                                    |
| BT10     | 104.0                | 90.2        | 0.007                          | 0.0092      | 0.044(6.11)   | 0.083(9.02)  | 15.1                                   |
| BT05     | 88.2                 | 78.1        | 0.018                          | 0.0123      | 0.018(1.00)   | 0.015(1.22)  | 6.3                                    |
| B21      | 99.7                 | 89.3        | 0.011                          | 0.0085      | 0.092(8.36)   | 0.105(12.40) | 15.0                                   |
| B10-1    | 97.0                 | 88.3        | 0.013                          | 0.0088      | 0.091(7.00)   | 0.087(9.89)  | 12.7                                   |
| B10-2    | 98.0                 | 88.0        | 0.012                          | 0.0090      | 0.084(7.00)   | 0.089(9.89)  | 12.4                                   |

\* Ultimate failure occurred locally in B21N.

とが認められる。曲げ圧縮破壊を生じたBT05では最大耐力と終局耐力がほぼ同じで終局耐力の後に平面保持仮定を適用することができないと認められた。

(2) 曲げ変形能力

曲げ降伏時の曲げモーメントと曲率、および明確な耐力低下するまでの終局曲率(圧縮鉄筋の降伏時の曲率に相当)を Table 4 に示した。Fig. 7 には曲げ降伏した試験体についてコンクリートの圧縮強度が 6.2MPa から 15.1MPa までの靱性能を示した。B シリーズとは Table 4 に示した B 記号の曲げ試験体である。BT シリーズとは Table 4 に示した BT 記号の曲げ試験体である。同図より、コンクリート強度が低いと明らかに靱性能が劣る結果が示され、断面解析による計算値とも整合していることと考えられる。また、BT シリーズと B シリーズを比較すると同じ強度では、靱性能は BT シリーズの方が B シリーズよりも低下することが認められた。

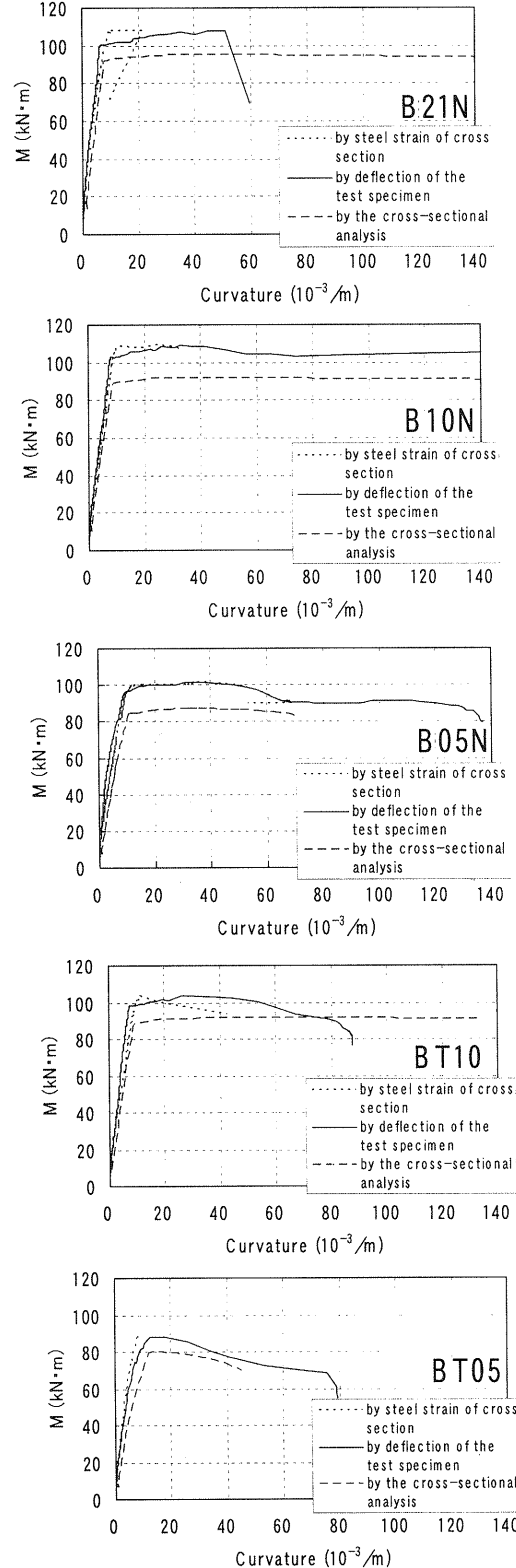


Fig.6 Relationship between bending moment and curvature (2)

(3) 曲げ耐力

断面解析による曲げ耐力の計算値は Fig. 8 に見られるように、低強度コンクリートに対しても精度よく曲げ耐力を算定できることがわかる。

3.3 せん断耐力と変形

(1) せん断力と相対たわみの関係

せん断試験体の試験区間におけるせん断力と相対たわみの関係を Fig. 9 に示す。同図により、同じあばら筋間隔で比較する

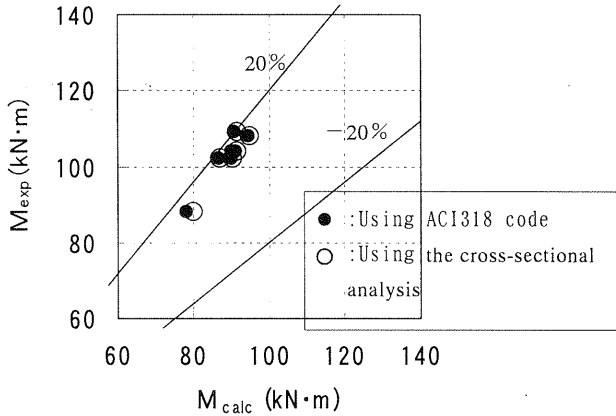


Fig.8 Experimental versus calculated values using the cross-sectional analysis

と S2120 と S1020 の差は少ないが S0520 には大きな耐力差が認められた。一方、コンクリート強度を固定して比較した場合、すべて付着破壊した S0520, S0515, S0520 のせん断耐力は大差なく、よって極低強度コンクリートの用いられた RC 梁のせん断耐力がコンクリート強度によって限定され、最大耐力と付着割裂耐力につながったと考えられる。より強度の大きい S1020, S1015, S1010 は、あばら筋量が多いと耐力が増大される傾向を示すが、あばら筋の最も多い S1010 では、曲げ降伏した後、試験区間外端部の付着破壊を伴うせん断破壊し、早期に変形能を失った。せん断スパンにより、比較される S10-700, S10-525, S10-350 では、せん断スパン比が小さい方は耐力、剛性共に大きくなった。者共に付着破壊した S10-525 と S10-350 の耐力低下には、せん断スパン比の大きい方が緩やかだった。S10-700 では、曲げ降伏した後、試験区間外が定着破壊して耐力を失った。S10-700, S10-525, S10-350 の破壊性状により、せん断スパン比が小さくなると破壊モードが曲げ降伏破壊から付着破壊に変化する傾向があった。同図では、二段配筋とした SD10-525 は一段配筋とした S10-525 と比較すると剛性、耐力は上昇する傾向がみられた。

(2) 既往耐力式の適用性

最大耐力の実験値と計算値の一覧を Table 5 に示す。耐力の計算値について、「曲げ」は ACI318 規準による曲げ耐力、「せん断 1」は大野・荒川式<sup>9)</sup>によるせん断耐力、「せん断 2」と「付着」は靱性指針式によるせん断耐力と付着割裂耐力を示している。また、「破壊モード」は実験結果として最大耐力時に支配的とみられる破壊状況から判定されたものである。

同表には曲げ試験体である B05-1, B05-2 が加えられている。その理由は、これらは試験区間外のせん断破壊によって耐力が決定されたものであり、あばら筋 2-D10@200 を用いた場合のせん断耐力を示していることが考えられるからである。他方、これらと同条件の試験体 S0510 では、付着割裂破壊が生じたが、最大耐力は B05-1 と全く同じになった。同等試験体 B05-2 の最大耐力は B05-1 よりも若干小さくなった。その上、B05-1, B05-2 の耐力は付着破壊の抑えられる載荷形式で得られ、実際には付着破壊が生じなかったことから、実験的には付着割裂破壊もせん断耐力もほぼ同等であると考えられる。さらに、S0510 よりもあばら筋量の少ない S0515, S0520 も付着割裂破壊を示したが耐力はより小さく、あばら筋の降伏も生じなかったことから、これらは 5MPa という極低強度コンクリートより耐力の限定されるせん断圧縮破壊に近い耐力をしめしたものと考え

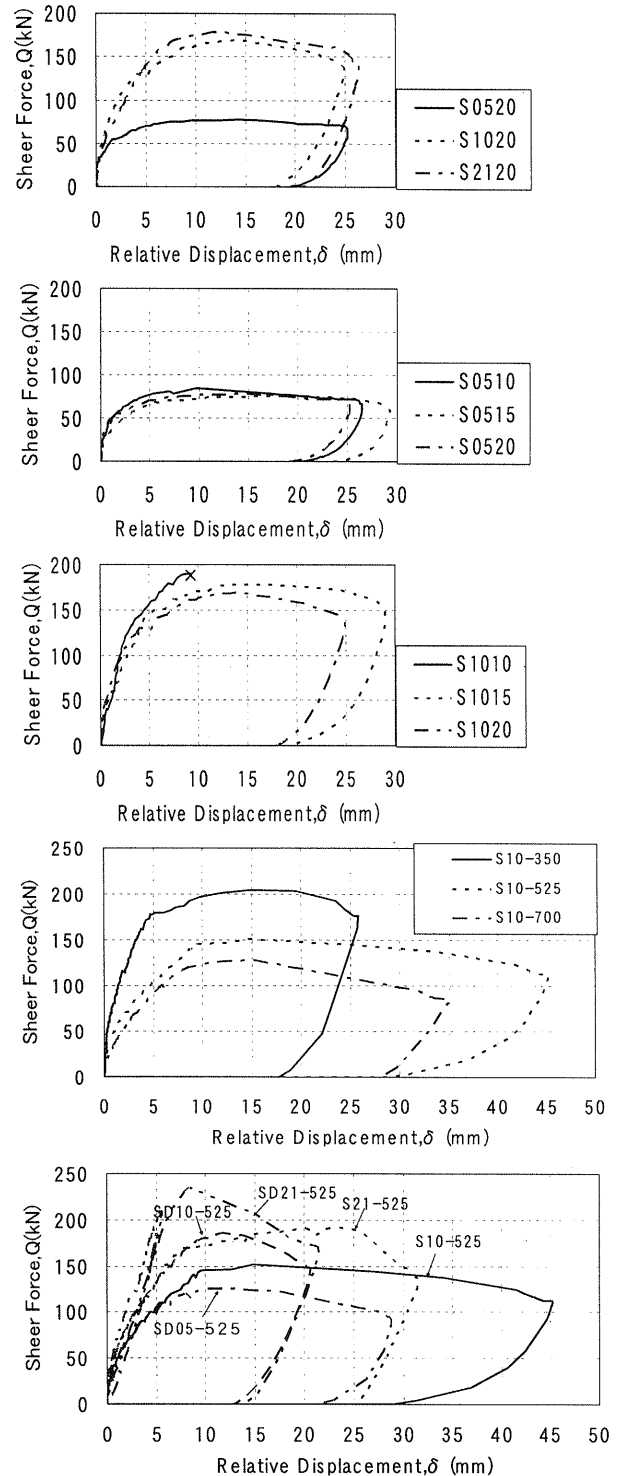


Fig.9 Shear force versus relative displacement

られる。このことは、靱性指針式<sup>9)</sup>によるせん断耐力の計算値はいずれもコンクリートの圧縮強度で決定される第 3 式によって得られていることとも符合する。一方、SD05-525 の計算値において、靱性指針式によるせん断耐力計算値は第 3 式によって得られ、実験においてもせん断圧縮破壊を生じたが実験値は計算値の 1.77 倍になった。よって、靱性指針式による計算値は二段配筋の極低強度コンクリートの用いられた RC 梁に対して大きく過小評価されたといえる。また、曲げ降伏後に試験区間外に付着割裂破壊を生じた S1010 ではあばら筋のひずみも降伏ひずみに近いことから、この最大耐力もせん断耐力に近いものと推察される。一方、S10-700 では、曲げ降伏後、試験区間外に定

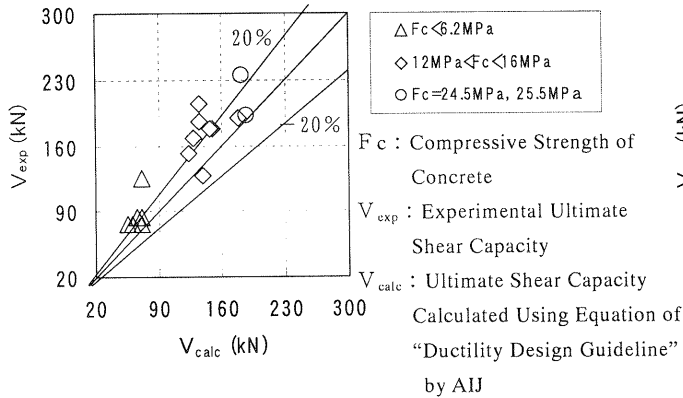


Fig. 10 Experimental versus calculated values by AIJ Eq.

着破壊を生じたため、耐力を失った。S10-700の最大耐力は付着割裂耐力に近いものと考えられる。Table 5により、S10-700の最大耐力は付着割裂耐力の計算値とほぼ同じでもみられた。同表により、強度の低いS10-350, S10-525, S10-700には、梁の付着割裂耐力はせん断スパンが小さくなると著しく過小評価される傾向があった。また、二段配筋の低強度試験体では、靱性指針式による計算値より、大野・荒川式による計算値の方は実験値に近似する傾向を示した。以上より、表-5に示された最大耐力の実験値はせん断耐力であるとみなして比較すると、同等のあばら筋間隔ではコンクリート強度の低いもの程小さく、同等のコンクリート強度ではあばら筋間隔の大きなもの程小さい。

Fig. 10, Fig. 11 本研究における実験の計算値と実験値との比較を示す。Fig. 10により、靱性指針式によれば、過小評価の傾向もみられるが安全側に評価された。他方、Fig. 11により、せん断耐力は大野・荒川式によると強度6.2MPa未満の試験体は危険側に評価される結果となった。そのことは、大野・荒川式ではあばら筋の降伏が前提であることから極低強度コンクリートを用いたRC梁に対しても当然、適用外になるものと思われる。

#### 4. まとめ

本実験の範囲で得られた知見を以下に示す。

- 1) コンクリート強度が低い場合、曲げ降伏が先行しても、その後の変形能は低いものとなる。
- 2) 材料特性に基づいて断面解析により、曲げ耐力と変形能を含めた梁断面の曲げモーメントと曲率の関係を適正に評価することができる。
- 3) T型梁に関しては、引張鉄筋量が多いため、コンクリートの

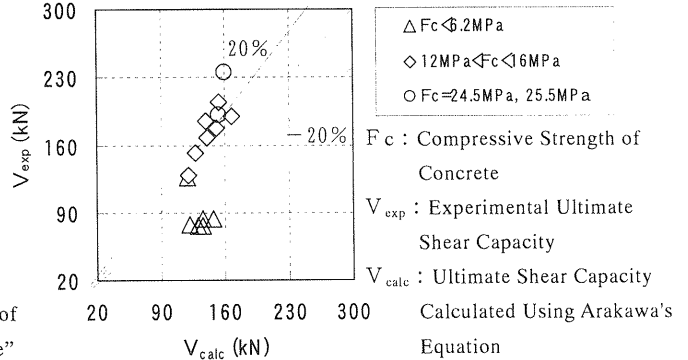


Fig. 11 Experimental versus calculated values by Arakawa's Eq.

強度が低いと圧縮鉄筋が引張鉄筋より先に降伏し、急激な耐力低下を生じる恐れがある。

- 4) あばら筋の降伏が生じないほどにコンクリート強度が低い場合の梁のせん断耐力は、耐震診断で慣用される大野・荒川式によると著しく過大に評価される。
- 5) 梁のせん断耐力は、靱性指針式によると、低強度コンクリートの梁に対しても一貫して安全側に評価されるが、やや過小評価に過ぎる傾向となる。
- 6) 付着割裂耐力は、靱性指針式によると、低強度コンクリートの場合にはせん断スパン比が小さくなると著しく過小評価される傾向を示した。

#### 参考文献：

- 1) 坂巻 建太, 他 3名: 既存鉄筋コンクリート造建築物のコンクリート強度に関する研究(その1), (その2), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp801-804, 2001.9
- 2) 永坂 具也, 他 3名: 極低強度コンクリートの用いられたRC梁の耐力と変形能, pp361-366, 2004
- 3) 沢崎 詠二, 他 4名: 低強度から成る柱の耐震補強に関する実験的研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp377-378, 2002.8
- 4) Smith, G.M. and Young, L.E.: Ultimate Flexural Analysis Based on Stress-Strain Curves of Cylinders, ACI Journal, Procs. Vol. 53, Dec. 1956, pp597-610
- 5) 日本建築学会: 鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説, 1999
- 6) 日本建築学会: 鉄筋コンクリート造建築物の靱性保証型耐震設計指針・同解説, 1999.8

Table 5 Experimental and calculation results

| Specimen | Fc (MPa) | Stirrups (mm) | Failure Mode | Experimental Ultimate Load (kN) | Calculation Results (kN) |                   |                   |           |
|----------|----------|---------------|--------------|---------------------------------|--------------------------|-------------------|-------------------|-----------|
|          |          |               |              |                                 | Flexural Capacity*1      | Shear Capacity1*2 | Shear Capacity2*3 | Bond*4    |
| S2120    | 15.2     | 200           | Shear        | 178                             | 173(1.03)                | 149(1.19)         | 150(1.19)         | 183(0.97) |
| S1020    | 12.1     | 200           | Shear        | 169                             | 171(0.99)                | 141(1.20)         | 128(1.32)         | 150(1.13) |
| S0520    | 4.2      | 200           | Bond         | 77                              | 158(0.49)                | 121(0.64)         | 55(1.40)          | 55(1.40)  |
| S1015    | 12.1     | 150           | Shear        | 178                             | 170(1.05)                | 151(1.78)         | 147(1.21)         | 165(1.08) |
| S0515    | 4.2      | 150           | Bond         | 76                              | 158(0.48)                | 130(0.58)         | 61(1.25)          | 61(1.25)  |
| S1010    | 12.2     | 100           | Shear        | 190                             | 170(1.12)                | 168(1.13)         | 178(1.06)         | 183(1.04) |
| S0510    | 4.2      | 100           | Bond         | 84                              | 158(0.53)                | 147(0.57)         | 66(1.27)          | 66(1.27)  |
| B05-1    | 4.5      | 100           | Shear        | 84                              | 122(0.69)                | 135(0.62)         | 71(1.14)          | 71(1.14)  |
| B05-2    | 4.5      | 100           | Shear        | 76                              | 122(0.62)                | 135(0.56)         | 71(1.07)          | 71(1.07)  |
| SD05-525 | 6.2      | 200           | Shear        | 126                             | 248(0.51)                | 119(1.06)         | 71(1.77)          | 71(1.77)  |
| SD10-525 | 15.1     | 200           | Shear        | 185                             | 261(0.71)                | 139(1.33)         | 135(1.37)         | 158(1.17) |
| SD21-525 | 24.5     | 200           | Shear        | 235                             | 273(0.86)                | 160(1.47)         | 182(1.29)         | 214(1.10) |
| S10-350  | 15.1     | 200           | Bond         | 205                             | 271(0.76)                | 154(1.33)         | 135(1.52)         | 129(1.59) |
| S10-525  | 13.2     | 200           | Bond         | 152                             | 180(0.84)                | 128(1.18)         | 123(1.23)         | 114(1.33) |
| S10-700  | 15.8     | 200           | Adhesive     | 129                             | 136(0.94)                | 120(1.07)         | 139(0.92)         | 127(1.01) |
| S21-525  | 25.5     | 200           | Shear        | 192                             | 186(1.03)                | 153(1.25)         | 188(1.02)         | 182(1.05) |

note: \*1ACI318 Code, \*2Arakawa's Equation, \*3Shear strength by the equation adopted in "Ductility Design Guideline" by AIJ, \*4the equation of "Ductility Design Guideline" by AIJ considered the bond effect. The value in ( ) are ratio of experimental ultimate load to calculation results, Fc: Compressive strength of concrete.