

新設コンクリート構造物への高圧縮じん性部材の適用と その問題点

三浦 康成¹・島内 理¹・今泉 正次²

¹ 正会員 五洋建設（株） 技術研究所（〒329-2746 栃木県那須郡西那須野町四区町 1534-1）

² フェロー会員 工修 五洋建設（株） 技術研究所（〒329-2746 栃木県那須郡西那須野町四区町 1534-1）

1. はじめに

新しい道路橋示方書耐震設計編¹では、中間帯鉄筋を十分に配筋することにより、橋脚コンクリートの拘束を高め、部材のじん性を高める方法が示されている。これに対して本論は、横拘束筋によりせん断破壊を防止し、コンクリートの曲げ圧縮破壊を高圧縮じん性部材（以下、NCSユニット²と称す）により防止する工法を提案するものである。この工法は、本論で述べるNCSユニットの基本的な耐震性能の把握を目的とした実験結果と高橋脚への適用検討結果から、高いじん性を新設RC橋脚に付与するものとみられる。

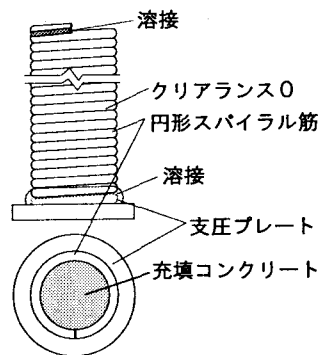


図-1 NCSユニットの概要

2. 高圧縮じん性部材とその適用柱

ここでは、高圧縮じん性部材NCSユニットの特徴について述べる。

(1) 高圧縮じん性部材の概要

NCSユニットは、図-1のようにスパイラル筋（普通鋼線：SMW-B）を隙間なく円筒状に巻付けた内部に、コンクリートが充填されたものである。

(2) 高圧縮じん性部材の構造性能

図-2は、部材直径を150mm、175mm、200mmと変化させて実施したNCSユニット（スパイラル筋径φ16mm）の単純圧縮試験より得られた圧縮応力度（ σ ）-軸ひずみ（ ϵ ）関係である。なお軸応力の算出は、NCSユニットのスパイラル筋芯で囲まれた面積で圧縮荷重を除して、また軸ひずみは、

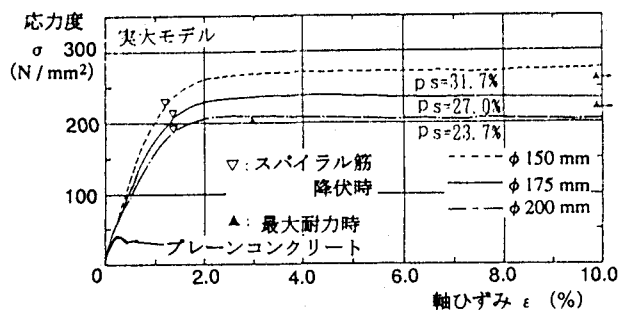


図-2 NCSユニットの軸応力-軸ひずみ関係

部材直径の3倍の高さを有する供試体中央部における検長区間（直径の2倍）のひずみとして、それぞれ求められたものである。図中 p_s は、スパイラル筋の体積比である。図より、部材径150mm供試体の軸圧縮強度は260N/mm²となり、内部に充填されたコンクリート（42N/mm²）の6倍強となる。一方、NCSユニットの軸剛性はプレーンコンクリートと変わらないこと、軸ひずみ10%程度までほとんど荷重低下しない特性を示すことがわかる。

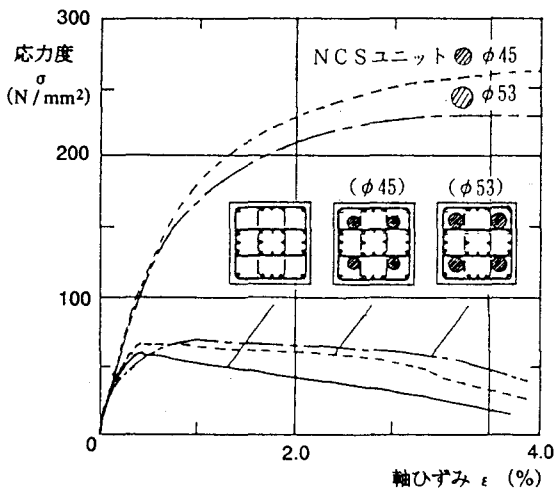


図-3 NCSユニットと柱中心圧縮試験体の
応力度-ひずみ度関係

(3) 高圧縮じん性部材適用柱の構造性能

高圧縮じん性部材を設置した柱（以下、NCSユニット柱）の構造特性の確認のために、中心圧縮実験および曲げせん断加力実験を実施した。

(a) 高圧縮じん性部材適用柱の中心圧縮

図-3は、NCSユニット柱の圧縮特性を把握するために行った、一般柱とNCSユニット柱の中心圧縮実験（柱径292mm角）の結果である。図中の応力度は、柱については柱断面で荷重を除いて算出し、NCSユニットについては前述（2）の方法で求めた。一般柱が最大耐力後に大きな耐力低下を示すのに対し、NCSユニット柱は最大耐力以後においても安定した耐力を保持することが確認できた。

(b) 高圧縮じん性部材適用柱の曲げせん断

図-4、5は、主鉄筋を考慮した軸力比が0.5の柱部材に関する逆対称加力実験より得られた、一般柱とNCSユニット柱のせん断力-部材角関係である。試験体³は1/3.25スケールの柱部材であり、断面寸法を292×292mm、せん断スパン比2.5の曲げ破壊型の計画とした。柱部材およびNCSユニットに充填されたコンクリートの設計基準強度は42MPaとし、主鉄筋はSD390のD13を24本、せん断補強筋は罫型D6を39mmピッチで配した。NCSユニット柱は、一般柱のコアコンクリート部分に換えて、外径φ53mmのNCSユニットを4隅に配したものである。なお、NCSユニットは、柱頭および柱脚の降伏ヒンジ領域1D（D:柱せい）に定着領域1Dを加えた計2D（584mm）に配置された。一般柱が部材角3/100rad.付近から急激に耐力を失い、5/100rad.で軸力を保持できなくなった。一方、NCSユニット柱は3/100rad.で最大耐力に達した後、最終サイクルにあってなお軸力を保

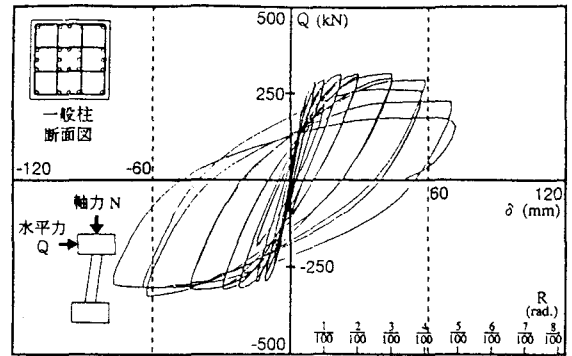


図-4 せん断力-部材角関係（一般柱）

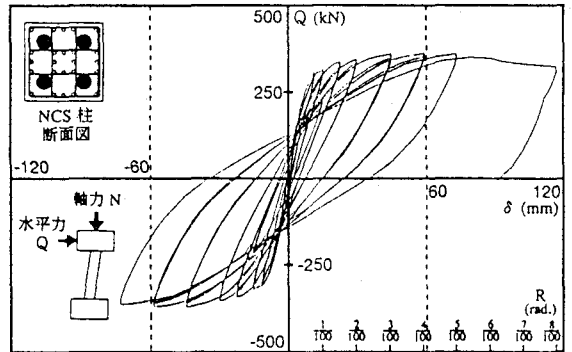


図-5 せん断力-部材角関係（NCSユニット柱）

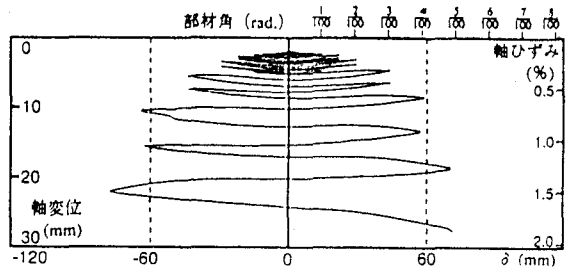


図-6 軸変形-部材角関係（一般柱）

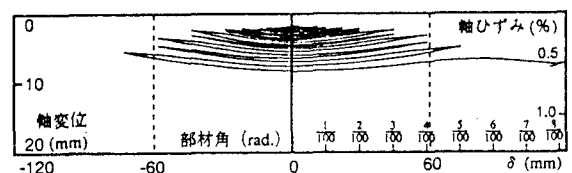
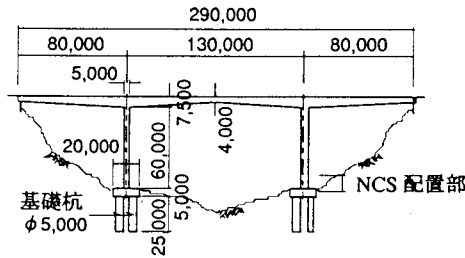


図-7 軸変形-部材角関係（NCSユニット柱）

持した。図-6、7は、軸変形を縦軸に、部材角を横軸にとったものであり、一般柱が大きな軸縮みを示したのに対し、NCSユニット柱の軸変形は抑えられ、安定した挙動を示した。軸変形が残留変形に大きく影響することを考えると、NCSユニットには残留変形量を抑える効果があることが確認された。

3. 高橋脚への適用検討

道路構造物のうち比較的軸力が大きく、NCSユニットの効果が発揮できると考えられる高橋脚に対



PC 3 径間連続ラーメン箱桁橋
側面図 (高さ60m)

図-8 検討モデル

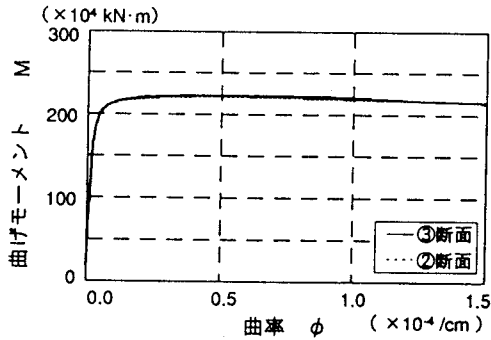


図-9 M-φ関係 (②, ③断面)

して、NCSユニットを適用する検討を行った^{*3}。

(1) 検討方法

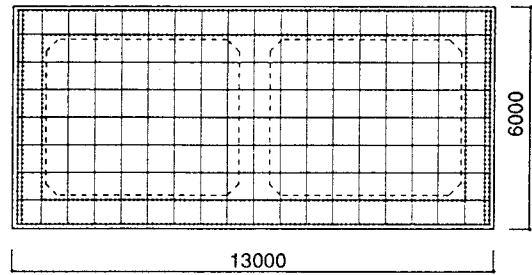
検討モデルは、図-8に示すような地域区分AかつI種地盤に立地するとしたB種の橋を設定した。基礎部を除く橋軸直角方向の下部工の検討は、道路橋示方書V耐震設計編^{*1} (以下、示方書V) の震度法と保有水平耐力法に準じて行った。検討方法は、

- ①断面：断面寸法を大きくすることにより保有水平耐力を満たす断面
- ②断面：中間帯筋を密に配することにより保有水平耐力を満たす断面
- ③断面：NCSユニットを橋脚ヒンジ領域に配置することにより②断面と同等以上の構造性能を得る断面

の3断面を設定して検討を進めた。特に③断面の検討は、ファイバーモデルによる断面のM-φ曲線^{*1}が、図-9に示すように②断面と同等以上となるように、NCSユニットを配置することにより行った。

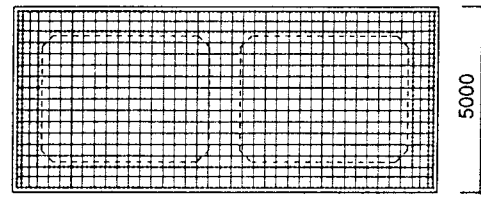
示方書V 5.3.1に規定される等価水平震度(下式[1])には下限値 $0.4 \cdot C_2$ (C_2 : 地域補正係数)が設定されている。そこで、この下限値を適用しない場合(a)と、適用する場合(b)について検討した。

$$k_{he} = k_{hc} / \sqrt{2 \mu_a - 1} \quad [1]$$



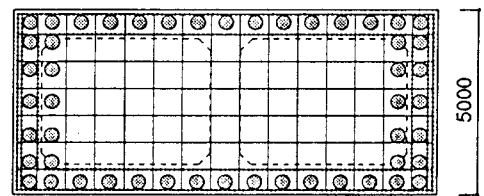
横拘束筋：D22 @75 cm, 主鉄筋：D51×638本

(①断面)



横拘束筋：D22 @30 cm, 主鉄筋：D51×550本

(②断面)



NCSユニット径 φ40 cm×40本

横拘束筋：D22 @75cm, 主鉄筋：D51×550本

(③断面)

横軸直角方向 \leftrightarrow
横軸方向 [横拘束筋の垂直ピッチ@15cm]

図-10 検討結果の断面 (①, ②, ③断面)

表-1 じん性率および許容塑性率

	①断面	②断面	③断面
断面B×D	6 m×13m	5m×11.5m	
横拘束筋間隔	75.0 cm	30.0 cm	75.0 cm
許容塑性率 タイプI	1.889	2.452	②断面 と同等
許容塑性率 タイプII	4.603	8.026	

ここで、 k_{he} は地震時保有水平耐力法に用いる等価水平震度を、 k_{hc} は地震時保有水平耐力法に用いる設計水平震度を、 μ_a は橋脚の許容塑性率を表す。

また②断面の設計にあたっては、②断面が③断面を設計するための断面と位置づけ、示方書V 9.4に規定される横拘束筋の体積比の上限値にとらわれないものとした。

(2) 検討結果

(a) 規定を適用しない場合

検討結果として得られた断面を図-10に、各断面のじん性率および許容塑性率の一覧を表-1に示す。なお、③断面の許容塑性率は直接計算できないが、

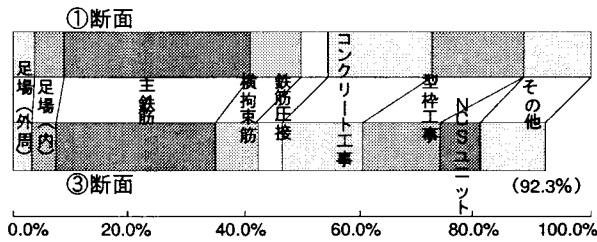


図-11 材工コスト割合 (①, ③断面の比較)

②断面のM-φ曲線と同等以上であることから、タイプIIの許容塑性率 μ_a が8.0以上と、十分な塑性変形能力を示した。また基礎を除いた橋脚部のコストを積算基準に従って算出し、各断面のコスト割合を図-11に示した。①断面を100%とすると③断面は92.3%となり、断面縮小によるコストダウンの可能性が示された。

(b) 規定を適用した場合

等価水平震度の下限値を適用した場合には、上述①～③断面は一律等価水平震度0.4となり、断面寸法が全て同じものとなった。したがって、NCSユニットのように非常にじん性を向上させる部材を配置した場合でも、断面寸法を縮小することができない結果となった。ただし、等価水平震度の下限値は、 $0.4 \cdot C_2$ で算出されるため、地域補正係数 C_2 が1.0より小さくとれる場合には、規定に従った設計でも、NCSユニットによる高じん性化の効果が発揮できコストダウンにつながることもあり得る。

4. 考察

示方書V図-解5.3.1, 同5.3.2に示される設計水平震度の標準値 k_{hc0} を用いて同5.3.2の設計水平震度を算出し、 $C_2=1.0$ における等価水平震度が下限値である0.4となるときの許容塑性率を、上述[1]式から逆算して求めると、図-12のようになる。図-12より、固有周期が1.6秒程度となった60m級の高橋脚では、I種地盤の場合、タイプI, IIの地震動とも μ_a の最大値は1.8程度となり、これ以上のじん性は設計に反映されないこととなる。

著者等は、新設RC構造物に対して非常に大きなじん性を与えることが可能なNCSユニットを、高橋脚へ適用することを提案した。しかし、示方書Vでは、上述のような高圧縮じん性部材を配置し、じん性型の設計とすることによって、断面を縮小することはできなかった。等価水平震度の下限値は、構造物に一定以上の耐力を付与し、耐力が過度に低い構造物を設計することを防ぐねらいで設定されたものと説明されている。しかし、新しい技術に対して

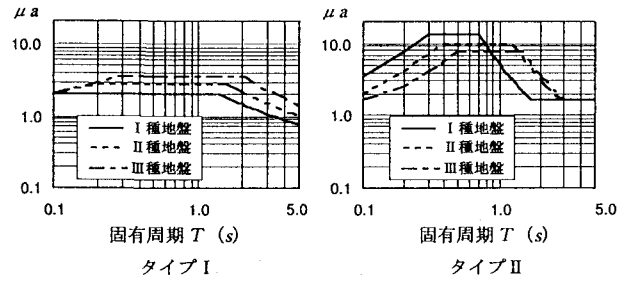


図-12 許容塑性率 μ_a の最大値 ($k_{hc}=0.4$ のとき)

は、力学的挙動の精密な評価に関する研究や、その評価を取込み、かつ精度を向上させた詳細な動的解析等による研究が十分になされ、その効果が確認された時点で、上述の下限値を低減できる道が開かれることを期待したいものである。また、等価水平震度の下限値として $0.4 \cdot C_2$ が適切であるか、あらゆる場合に制限を設ける必要があるかどうかを含めた研究も必要であると考えられる。

本論では高橋脚への高圧縮じん性部材NCSユニットの適用について述べてきたが、NCSユニットの特性をより活かした構造物として、地下鉄中柱や吊り橋主塔など、高圧縮を受ける部材の耐震性能の向上に活用できるものと考えられる。

5. おわりに

高圧縮じん性部材NCSユニットの単体圧縮加力実験より、NCSユニットが非常に大きな軸圧縮耐力とじん性を有することが確認できた。また、NCSユニットを配置した柱部材の中心圧縮加力実験および曲げせん断加力実験より、NCSユニット柱の構造性能は、じん性の著しい改善が可能であることが示された。さらに、道路構造物において比較的高圧縮じん性部材の特性を活かせる高橋脚に適用し、地震時保有水平耐力法による検討を行った。この検討結果より、現在の道路橋示方書では設計に反映され得るじん性に対して限度があり、高圧縮じん性部材NCSユニットのメリットが十分に取込みできないことが把握できた。

参考文献

- 1) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説V耐震設計編, p.39, pp.65-70, pp.120-133, 平成8年12月
- 2) 坪崎他：五洋建設超高層RC工法 (PHRCシステム) の開発, 五洋建設 (株) 技術研究所年報 Vol. 21, 1991
- 3) 今泉, 三浦：RC橋脚の高じん性化に関する一提案, 第22回日本道路会議論文集 (6) 橋梁部会, pp.902-903, 1997年12月