

## 【討議・回答】

三木千壽  
休場裕子 共著  
沖中知雄

# 「阪神大震災により円形断面鋼製橋脚に生じた脆性破壊の材料特性からの検討」への討議・回答

(土木学会論文集No.612/I-46, 1999年1月掲載)

## ▶ 討議者 (Discussion)

大倉一郎(大阪大学)

Ichiro OKURA

著者等が研究対象とした鋼製円柱橋脚と同じ橋脚で局部座屈変形を含む鋼板の残留ひずみ、硬さ、破壊靱性を討議者も調べた<sup>1)</sup>。鋼板に導入された塑性ひずみの大きさに関して、討議者と著者等の結果とが大きく異なっているので討議を出した。

著者等は、塑性ひずみの大きさが非座屈部で最大8.5%、板厚方向平均で4.4%、座屈部で最大21.1%、板厚方向平均で12.3%で、しかもこれらの塑性ひずみは圧縮であると報告している。

討議者の研究では、座屈部で円柱方向に±2%程度の板曲げひずみが観察されたが、非座屈部では円柱方向に残留ひずみは観察されず、円周方向に円筒形への曲げ加工による板曲げひずみだけが観察された。すなわち非座屈部は地震を受ける前の円筒形を保っていた。これから、座屈部に12.3%、非座屈部に4.4%を超えるような大きな圧縮の塑性ひずみが発生したという著者等の主張は信じ難い。

著者等がこのような大きな塑性ひずみを推定した原因は、論文の図-5「ビッカース硬さとNスケルトンひずみの関係」を使用したことにある。そこで図-5に関して、次の点を明らかにしていただきたい。

- (1) 図-5は論文の文献10)にあるとされているが、この文献は不明である。同名の報告書は(中間報告書III)として1996年7月に発刊されている。1996年7月発刊の報告書の図には論文の図のようにSM490AとSMA400が併記されておらず、SM490Aのみが示されている。値に関しても約12%のNスケルトンひずみに対してビッカース硬さが約200になっており、論文の図とは異なっている。
- (2) プロット点のばらつきが大きいので、ビッカース

硬さからNスケルトンひずみを推定する際に大きな誤差が生じる。特に、図-5でNスケルトンひずみが約13%を超えると、Nスケルトンひずみはビッカース硬さと関係がないように見える。

- (3) 図-5は、近年製鋼されたSM490A鋼に対する結果である。鋼製橋脚が製作された当時、すなわち1968年頃のSM490A鋼もこの図と同じような関係を示すことを確認されたでしょうか。
- (4) 鋼製円柱橋脚は地震時にランダムな荷重履歴を受けた。したがって、図-5の関係は塑性ひずみの履歴パターンに影響されないことが要求される。これに関して著者等は検証を行ったでしょうか。討議者は、塑性履歴を受けた鋼材の破壊靱性低下を塑性スケルトンひずみで評価できないことを確認している<sup>2),3)</sup>。

## 参考文献

- 1) 大倉一郎, 田原潤, 安田修, 広野正彦: 阪神・淡路大地震で被災した鋼製円柱橋脚の破壊靱性, 鋼構造論文集, 第5巻, 第19号, pp. 29-37, 1998.
- 2) Okura, I., Tahara, J., Nishioka, T. and Yasuda, O.: Effects of cyclic plastic strains on fracture toughness of structural steel, Stability and Ductility of Steel Structures, Edited by T. Usami and Y. Itoh, Elsevier, pp.415-424, 1998.
- 3) 大倉一郎, 田原潤, 安田修, 広野正彦: 繰返し塑性ひずみによる鋼材の破壊靱性低下を評価するためのモデル, 構造工学論文集, Vol.45A, pp. 347-356, 1999.

(1999.5.7受付)

## 1. はじめに

ご討議をいただきありがとうございます。

回答するに当たって強調しておきたいのですが、著者らの研究は、被災による鋼材の破壊靱性劣化という現象に主眼を置いており、その劣化を裏付ける一指標としてピッカース硬さによるひずみ推定方法を用いたまです。その推定値を、材料試験と併せて総合的に判断し、多大なる塑性ひずみが導入されたかと判断しています。論文中に用いた参考文献(10)および後述の提供していただいたデータに基づくピッカース硬さとスケルトンひずみの関係は、著者らの研究にも使用し得ると考えています。それにより、被災鋼材のピッカース硬さから、座屈部で最大21.1%、非座屈部で最大8.5%のひずみが推定されると示しています。この関係が地震動により与えられた繰り返しひずみに対して、有効であるかは検証しておりません。簡単に言えば、鋼材が単調ひずみに換算して、この程度のひずみを受けたことに匹敵するほどのピッカース硬さの上昇が示されています。また、この関係を用いて、靱性劣化を扱ってはおりません。

本論文中では、阪神大震災で被災した円筒形橋脚の鋼材の破壊靱性値を、破壊力学的手法であるCTOD試験と簡便な方法として多用されているシャルピー衝撃試験を用いて検討を行いました。いずれの試験結果も驚くほど低い値を示し、室温においてもほぼ100%の脆性破面を擁して破壊する鋼材となっていました。その靱性劣化を、引張試験およびピッカース硬さ試験、さらにSR処理を施した試験片での同様の検討を経て議論しています。実験によって得られた結果が、地震応答解析などの数値解析で再現されているものや座屈形状の計測から得られた程度のひずみ量ではとうてい説明が付かないほどの靱性劣化であるという点に着目して、考察を加えた研究です。

その後、予ひずみを与えた数種類の構造用鋼材の破壊靱性についても実験を行い、現在投稿中ですが、圧縮15%のひずみを与えても、被災鋼材から得られた程度の脆性破壊にはいたっていません。この点を踏まえても、被災鋼材は多大なる塑性ひずみを受けていたと

考えられるのではないのでしょうか。

以下、討議に対する回答を行います。再度強調しますが、本論文の主題は、被災による靱性劣化の破壊力学的評価です。討議がピッカース硬さの利用に関するものに終始することを残念に思います。

## 2. 回答

- (1) 図-5は、文献(10)の著者である大阪大学の南二三吉先生に、数値データをいただき、こちらで作成したものです。その際、SMA400材データもご提供いただき、材料依存性を示すために併せて表示しました。論文中で明記を怠ったことをお詫びいたします。
- (2) 前述したように、あくまでも推定の一手法として用いています。確かにばらつきも大きく、論文中の図-5に頼って具体的なひずみ量を議論するのは難しい面もあり、特に13%以降にはご指摘のような傾向が見られますが、13%を越えた塑性ひずみに相当するという判断の十分な根拠にはなり得ます。
- (3) スケルトンひずみとピッカース硬さの関係を論じるものではないゆえ、ご指摘の件については確認をしていません。しかし、論文中にも明記した通り、シャルピー吸収エネルギーについて製造年代による相違の検討を行いました。
- (4) 著者らは、地震動による鋼材の靱性劣化をスケルトンひずみで整理しようとしているのではなく、本論文で行った各材料試験結果により、地震により多大なる塑性ひずみが導入されたのではないかと議論しています。地震動により鋼材に導入されたひずみを推定する一指標として、スケルトンひずみを用いておりますが、これはピッカース硬さとの関連付けにおいて最適であると判断したためです。論文中のCTOD試験およびシャルピー衝撃試験により得られた靱性劣化を整理する指標としては用いておりません。

(1999.5.7受付)