

高応力三軸度下における高強度鋼材(SBHS500, SM570 など)の延性破壊解析 ——不均一比と要素破壊時変位関係式の一般性の検討

名城大学大学院 学生会員 ○池田 修斗
名城大学 フェロー 葛 漢彬

名城大学 正会員 劉 巖
元名城大学 JSPS 外国人特別研究員 康 瀾

1. はじめに

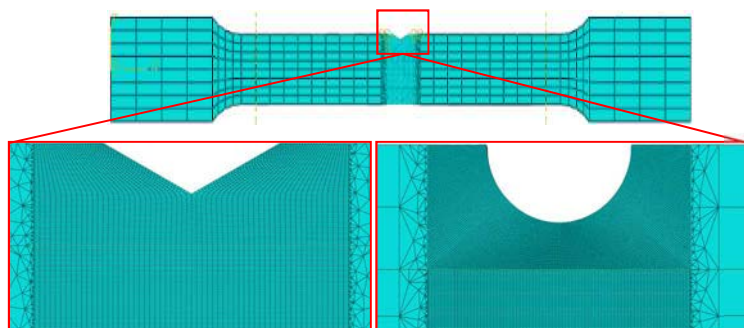
これまでに、ノッチを有する試験片 (SM490材, SM570材およびSBHS500材) に対して単調引張実験を行い、異なるノッチ半径やノッチ角度、鋼種による影響を比較することで、破断に至るまでの力学的特性とき裂の発生・進展を明らかにした¹⁾。また、応力三軸度の影響を考慮した要素破壊時変位を適用した延性破壊モデルにより、一連の実験と解析によって要素破壊時変位 (要素破壊時の塑性変位) と不均一比 (ノッチ先端と試験片の中心における応力三軸度の平均値の比) の関係を解明し、高応力三軸度下におけるSM490材の延性破壊挙動を精度良く予測した²⁾。

一方、近年では高強度鋼材を利用した構造物が増えている。一例として東京ゲートブリッジでは高強度鋼 SBHS500材が利用されており、約3%の総重量削減や約12%のトータルコスト削減に成功している³⁾。このような高強度鋼材の実用化は増加傾向であるが、延性破壊挙動に関する検討がほとんどされていない。そこで、本研究では、普通鋼材SM490材の不均一比と要素破壊時変位より作成した提案式を、高降伏点を有するSBHS500材、SM570材およびQ690材⁴⁾に対し、その一般性について検討する。

2. 解析概要

解析には汎用有限要素プログラムABAQUSを用いる。図1(a), (b)にVノッチ試験片(VBS-120)およびUノッチ試験片(UBS-R5)の解析モデルを例として示す。解析モデルは、計測寸法をもとにモデル化している。要素タイプは6面体1次要素(C3D8R)を用いており、メッシュ分割は板厚方向を10分割 (メッシュサイズは1.2mm) , ノッチ周辺とき裂進展方向は0.1mmとした。ノッチ周辺とき裂が進展する試験片中心部以外は、解析時間短縮のため粗い要素で分割した。载荷方法は実験と同様に、片側固定でもう片側に強制変位を与える単調引張载荷である。構成則は材料試験の結果から換算した真応力-真塑性ひずみを用いて、式(1)に示すPLT法(Power Law Tangent)を用いた。また、本解析で用いた延性破壊モデルを図2に示す。

$$\sigma = \begin{cases} \left(\frac{\sigma_{neck}}{\varepsilon_{neck}^{\varepsilon_{neck}}} \right) \cdot \varepsilon^{\varepsilon_{neck}} & (\varepsilon \leq \varepsilon_{neck}) \\ \sigma_{neck} \cdot (1 + \varepsilon - \varepsilon_{neck}) - \frac{\sigma_{neck}}{1+n} (\varepsilon - \varepsilon_{neck})^{n+1} & (\varepsilon > \varepsilon_{neck}) \end{cases} \quad (1)$$



(a) VBS-120 試験片 (b) UBS-R5 試験片

図1 解析モデル

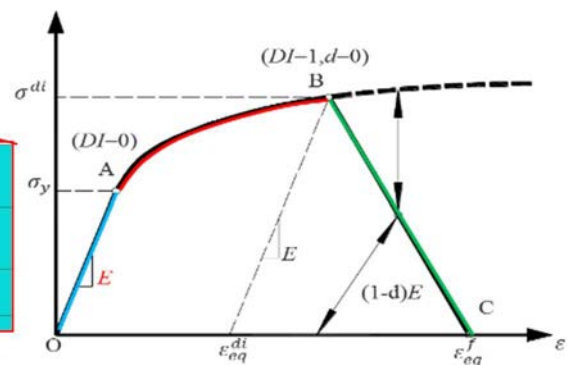


図2 延性破壊モデル

キーワード 高強度鋼材, 高応力三軸度, 切り欠き, 応力集中, 不均一比, 要素破壊時変位

連絡先 〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口 1-501 名城大学理工学部社会基盤デザイン工学科 TEL 052-838-2342

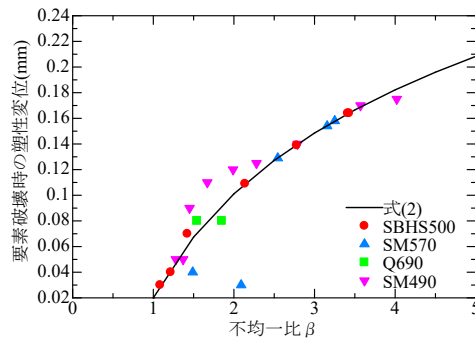


図3 4種鋼材の要素破壊時変位と不均一比の関係

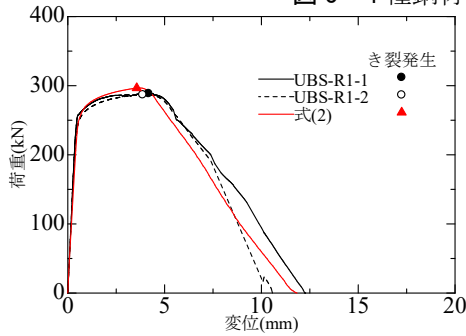


図4 荷重-変位曲線(SBHS500-R1)

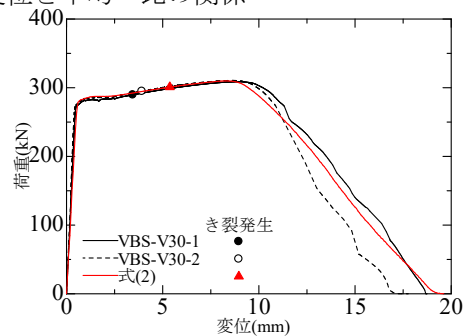


図5 荷重-変位曲線(SM570-V30)

3. 一般性の検討

文献2)では普通鋼材SM490材の要素破壊時変位 u_{eq}^f と不均一比 β の関係を式(2)に示すように定式化した。

$$u_{eq}^f = 0.117(\beta) + 0.02 \quad (2)$$

本研究では、文献2)と同様にSBHS500材、SM570材およびQ690材においても不均一比と要素破壊時変位の関係を明らかにするため、き裂の発生を考慮しない解析、いわゆる通常の弾塑性解析(以後非破壊解析と称する)を実験のき裂発生変位まで行った。非破壊解析によりノッチ底部とノッチ中心部の応力三軸度を抽出し、ノッチ底部とノッチ中心部の応力比を表す不均一比 β を算出した。

図3に、3種類の高強度鋼材の要素破壊時変位と不均一比の関係を示す。SM490材と同様に、不均一比 β が大きくなるに伴い要素破壊時変位 u_{eq}^f も大きくなるのが分かる。すなわち、ノッチ角度が小さくなるにつれて u_{eq}^f が大きくなる。これは、鋼種に関わらず同様な傾向を示した。不均一比が2以下ではSM570材の1ケースを除いて若干のばらつきがあるが、2以上となるVBSシリーズおよびUBSシリーズにおいては精度の良い結果となった。また、図4、図5に例として、SBHS500材(R1)およびSM570材(V30)の荷重-変位曲線を示す。荷重-変位曲線においても実験を概ね模擬することが可能であり、式(2)が高強度鋼材に対しても有効であるといえる。

4. おわりに

普通鋼材 SM490 材により提案された不均一比と要素破壊時変位の関係式は、高降伏点を有する SBHS500 材、SM570 材および Q690 材においても精度よく評価することを確認した。よって、式(2)は鋼種に関わらず適用できることから一般性があると考えられる。

参考文献

- 1) 池田 修斗, 劉 巖, 葛 漢彬, 康 瀾: 切り欠きを有する高強度鋼材の延性破壊挙動に関する実験的検討, 土木学会論文集 A1(構造・地震工学), Vol.78, No.4, 2022. (掲載予定)
- 2) 劉 巖, 葛 漢彬, 康 瀾: 高応力三軸度における鋼材の延性破壊モデルの予測精度向上に関する研究, 土木学会論文集 A1(構造・地震工学), Vol.74, No.4, pp.I_546-I_557, 2018.
- 3) 三木 千壽, 市川 篤司, 楠 隆, 川端 文丸: 橋梁用高性能鋼材 (BHS500, BHS700) の提案, 土木学会論文集, No.738/I-64, pp.1-10, 2003.
- 4) 劉 巖, 池田 修斗, 葛 漢彬, 康 瀾: 高応力三軸度下における高強度鋼材(Q690)の破断特性に関する実験的研究, 土木学会第75回年次学術講演会概要集, I-305, 2020.