

314 破壊遷移特性に及ぼす高歪繰返し負荷の影響に関する実験的検討

—高歪繰返し負荷による延性き裂発生後の構造用鋼の破壊特性とその評価法（第1報）—

三菱重工業(株)

○村井 亮介, 富松 実, 吉本 賢太郎

大阪大学大学院工学研究科

大畑 充, 松村 重文, 南 二三吉, 豊田 政男

Experimental investigation on influence of cyclic plastic pre-strain on fracture transition property— Fracture property and its evaluation of structural steel under cyclic loading with ductile crack Initiation (Part 1)—

by R.Murai, M.Tomimatsu, K.Yoshimoto, M.Ohata, S.Matsumura, F.Minami, M.Toyoda

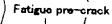
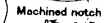
1. 緒言 大規模地震下では、構造物に大きな繰返し負荷が作用することにより、溶接部や構造的・形状的な不連続部などの応力・歪集中部から延性き裂(極低サイクル疲労き裂を含む)が発生し、これがきっかけとなって脆性破壊を引き起こすことが考えられる。特に、鋼材の場合には、局所的な繰返しの大きな歪を受けることにより著しい靱性の低下を示す可能性があることから、本研究では、繰返し負荷による予歪に着目して延性き裂発生後の破壊特性変化について検討を行った。

2. 実施内容 供試材には、板厚 12mm の 2 種類の構造用鋼 SS400(A 材: 0°C のシャルピー吸収エネルギー vE_0 が約 73J のバース材, B 材: $vE_0=83J$ の鋼材に約 5% の引張又は圧縮歪を付与した予歪材(vE_0 =約 43J))を用いた。試験マトリクスを Table1 に示す。試験は、Fig.1 に示すように、機械加工による切欠又は高サイクル疲労き裂を導入した 3 点曲げ又は 4 点曲げ試験片を、単調載荷、一方向繰返し載荷、正負交番繰返し載荷のいずれかの載荷方法により、曲げ負荷を与え破壊させた。Table2 に、予歪過程及び破壊試験時の試験温度を示す。破壊試験は、脆性破壊温度(単調載荷試験で延性き裂成長を伴わずに脆性破壊する温度, A 材: -120°C , B 材: -100°C)及び遷移温度(単調載荷試験である程度の延性き裂成長を伴って脆性破壊する温度, A 材: -70°C , B 材: -50°C)の 2 温度で集中的に実施した。なお、一方向繰返し載荷及び正負交番載荷における予歪負荷は、室温大気中で行い、最大約 3mm の延性き裂を発生させた。

3. 試験結果 Fig.2 に限界 CTOD 値の温度依存性の結果を、Fig.3 に代表的な 2 温度での限界 CTOD 値に及ぼす載荷履歴の影響を示す。これらの結果より、A 材、B 材ともに繰返し高歪載荷により延性き裂を発生させた試験片は、程度の差はあるものの、単調載荷によって破壊させたものに比べて破壊時の限界 CTOD 値が低下する傾向が認められた。また、A 材については、Fig. 3 (a)に示すように繰返し載荷履歴の影響についての検討を行っているが、Type II の正負交番繰返し載荷のほうが、Type I の一方向繰返し載荷の場合に比べて、限界 CTOD 値は低めとなっている。さらに、B 材については、Fig.3(b)に示すように切欠材の方がき裂材に比べて限界 CTOD 値が小さくなっている。これらの差は、繰返し高歪付与により延性き裂が発生・成長する際に、き裂先端近傍の材料に蓄積される予歪の大きさ、分布などが異なるためと推定される。

以上の結果より、高歪繰返し負荷により延性き裂が発生した後の限界 CTOD 値は、単調載荷によって得られる限界 CTOD 値と比べて低下する場合があることがわかった。この傾向は、供試材の材料特性やき裂先端の塑性拘束の状態にも依存するものと考えられ、き裂先端近傍の予歪量や予歪分布、残留応力分布等が複雑に影響を及ぼした結果と推定される。

Table 1 Test matrix

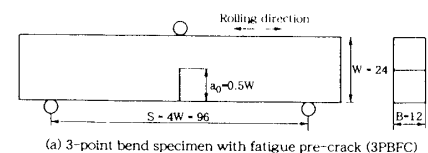
Specimen *1	Material	Loading History		
		Monotonic Loading	Cyclic Loading	
			Type I	Type II
	Steel A	○	○	○
	Steel B	○	—	○
	Steel B	—	—	○

NOTES) *1 : Specimen geometries are shown in Fig.1 in detail.

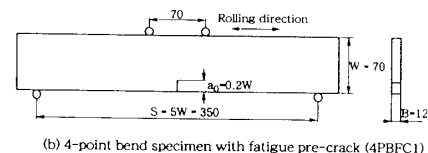
Table2 Pre-strain and fracture cycle conditions

Material	Crack	Loading history	Load vs displacement history curve *		Specimen	Temperature (°C)
Steel A	Fatigue pre-crack	Monotonic Loading	Prestrain cycle	—	—	—
			Fracture cycle	—	3PBFC	-70, -120
		Cyclic Loading	Prestrain cycle	—	4PBFC1	RT
			Fracture cycle	—	3PBFC	-70, -120
Steel B	Fatigue pre-crack	Monotonic Loading	Prestrain cycle	—	—	—
			Fracture cycle	—	4PBFC2	-50, -100
		Cyclic Loading	Prestrain cycle	—	4PBFC2	RT
			Fracture cycle	—	4PBFC2	-50, -100
	Machined notch	Cyclic Loading	Prestrain cycle	—	4PBMN	RT
			Fracture cycle	—	4PBMN	-50, -100

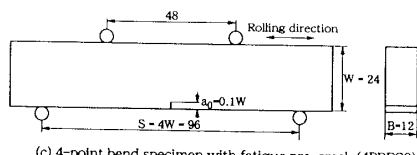
NOTE) * : see Table 1



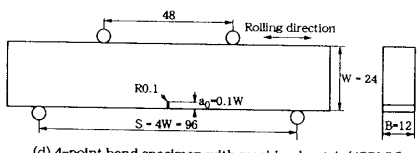
(a) 3-point bend specimen with fatigue pre-crack (3PBFC)



(b) 4-point bend specimen with fatigue pre-crack (4PBFC1)



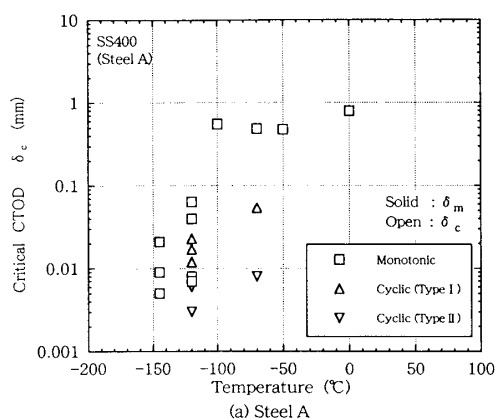
(c) 4-point bend specimen with fatigue pre-crack (4PBFC2)



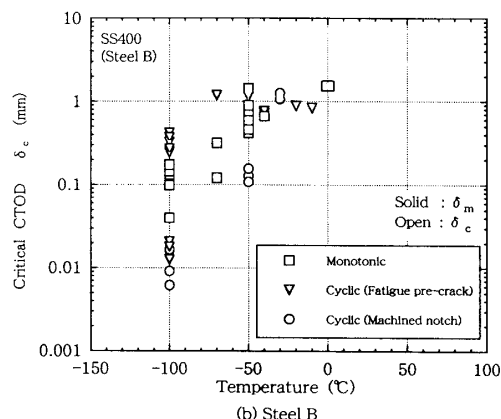
(d) 4-point bend specimen with machined notch (4PBMN)

(unit : mm)

Fig.1 Geometries of specimens.

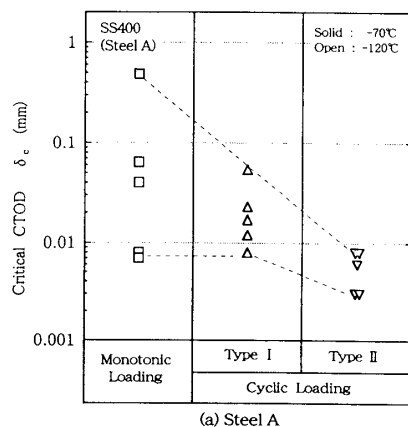


(a) Steel A

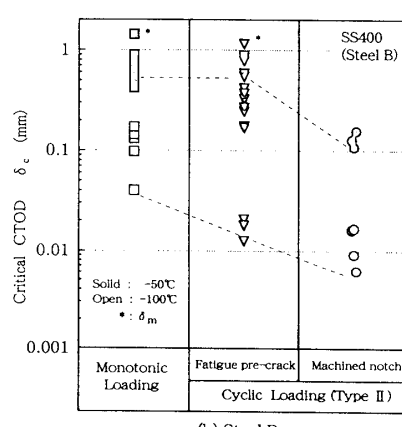


(b) Steel B

Fig.2 Effect of temperature on critical CTOD.



(a) Steel A



(b) Steel B

Fig.3 Effect of loading cycle on critical CTOD.