

강도적 불균질재의 노치 표면에서의 연성크랙 발생 거동

Behavior of ductile crack initiation with strength mismatch from notch root

안 규백*, 大畑 充**, 방 한서***, 豊田 政男**

* 일본 오사카대학 대학원 (현, 삼성중공업)

** 일본 오사카대학 대학원 생산과학전공

*** 조선대학교 선박해양공학과

ABSTRACT It has been well known that ductile fracture of steels is accelerated by triaxial stresses. The characteristics of ductile crack initiation in steels are evaluated quantitatively using two-parameters criterion based on equivalent plastic strain and stress triaxiality. This study provides the fundamental clarification of the effect of strength mismatching, which can elevate plastic constraint due to heterogeneous plastic straining, loading mode and loading rate on critical condition to initiate ductile crack from notch root using equivalent plastic strain and stress triaxiality based on the two-parameter criterion obtained on homogeneous specimens under static tension. The critical condition to initiate ductile crack from notch root for strength mismatched bend specimens under both static and dynamic loading would be almost the same as that for homogeneous tensile specimens with circumferential sharp notch under static loading.

1. 서 론

건축 철골 구조물 등의 용접 강구조물에서는, 지진 하중 등에 의해 거대한 변형을 동반하는 경우, 초기결함 등의 응력집중원이 존재하지 않아도, 용접 접합부로 대표되는 구조적인 응력-변형을 집중부에서 큰 소성변형을 동반한 연성크랙이 발생하여, 그것이 취성파괴의 기점이 되는 경우가 많이 있다. 특히, 구조물에 있어서 구조물의 표면에서의 크랙이 발생하여 그것이 파괴의 기점이 되는 경우가 많이 있다.¹⁻³⁾ 강구조물의 취성파괴에 선행하여 발생하는 연성크랙의 발생조건과 그 지배인자를 해명하여, 그 한계평가수법을 확립하는 것이 매우 중요하다고 생각한다.

본 연구에서는, 강도적 불균질이 존재하는 부재, 또한 이것이 동적부하를 받는 경우의 시험편 표면에서의 연성크랙 발생거동을 평가하기 위하여, 샤프피형상의 시험편을 사용하여, 정적 및 동적하중하에서 굽힘시험을 실시하여, 연성크랙 발생거동을 파악후, 그 실험결과를 바탕으로 하여, 열-응력 연성을 고려한 유한요소법에 의한 수치해석을 수행하여

종래⁴⁾ 부터 제안되어진 상당소성변형률과 응력다축도의 2 파라메타를 이용하여 강재의 표면에서의 연성크랙 발생 한계조건에 대하여 검토하였다.

2. 시험방법 및 시험편

모재로서는 두께22mm의 HT80강과 50Kg급의 용접와이어를 사용한 Electro gas 용접에 의하여 의도적으로 강도적 불균질재를 갖는 연질 용접 이음부를 작성하였다. 용접조건을 Table 1에 나타내었다. 또한 비커스 경도분포를 Fig. 1에 나타내었다. 용접금속과 열영향부의 경도의차가 거의 용융선을 경계로 명확하게 나타났으며, 그 경도차는 약 20%정도로 나타났다. Fig. 2에는 본 실험에 사용한 시험편의 형상을 나타내었다. 시험편은 샤프피 타입으로써 용접금속의 중앙부에 노치가 존재하는 경우(이하, 균질재)와 용접금속

Table 1 Welding condition for EGW.

Electro Gas Arc Welding (EGW)		
Wire	Weld heat input	Shield gas
1.6mmφ Flux wire	142 153 (kJ/cm)	100%CO ₂

의 경계면에 노치가 존재하는 경우(이하, 불균질재)에 대하여 각각 작성하였다. Fig. 3에는 판두께 중앙부에서 용접선의 직각방향에의 채취한 직경6mm, 표점간거리 12mm의 평골 환봉 시험편에서 얻은 모재와 용접금속 (표점간은 모두 용접금속)의 응력-변형률 특성을 나타냈으며, 그것의 기계적특성을 정리한 것을 Table 2에 나타내었다.

Table 2 Mechanical properties of steel used.

Material	σ_y (MPa)	σ_T (MPa)	YR	Sr(Y)	Sr(T)	ϵ_T (%)	EL. (%)
Base metal (BM)	848	887	96	1.67	1.30	6.0	30.8
Weld metal (WM)	509	684	74			11.4	32.0

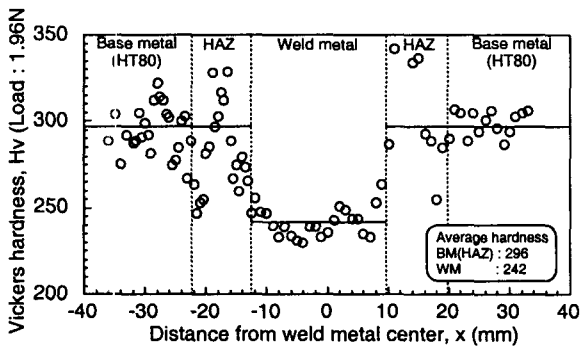


Fig. 1 Vickers hardness distribution of welded

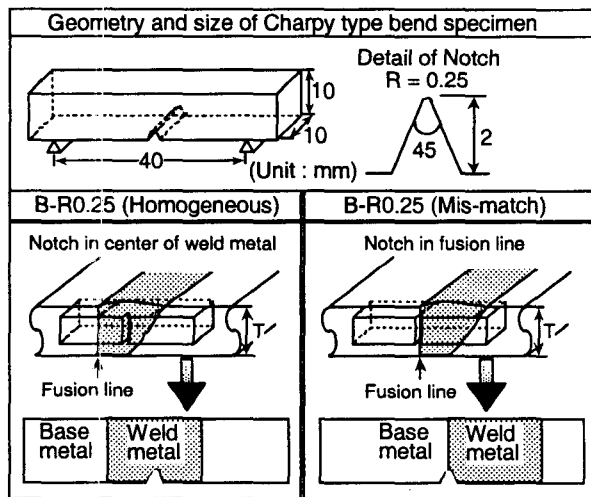


Fig. 2 Geometry and size of 3-point bend specimens.

3. 굽힘시험의 노치 표면에서의 연성크랙 발생 거동

노치 표면에서의 연성크랙 발생 한계조건이 노치 표면에 존재하는 강도적 불균질재의 영향을

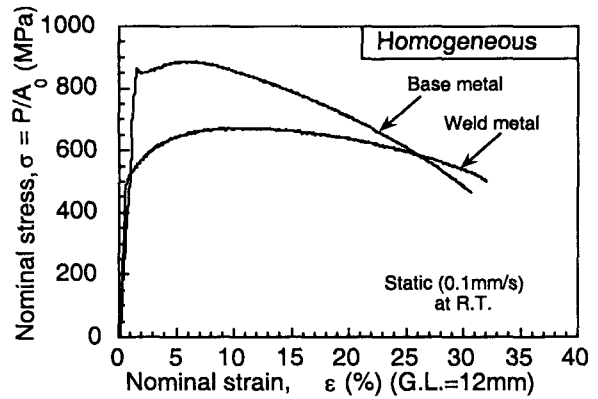


Fig. 3 Nominal stress, σ - nominal strain, ϵ curves for base metal and weld metal under static loading, 0.1mm/s.

어떻게 받는가에 대하여 검토하기 위하여 얇은 노치를 넣은 굽힘 시험편에 대하여 정적 및 동적 하중조건에 있어서 연성크랙 발생거동에 대하여 실험(파단 및 제하 실험) 및 관찰을 수행하였다.

Fig. 4는 불균질 시험편의 동적하중에 따른 제하 실험에서 얻은 판두께 중앙단면에 있어서의 노치근방을 SEM으로 관찰한 결과를 나타내었다. 제하 레벨에 관계없이 모두가 노치표면에서 굽힘 방향에 대하여 거의 45° 방향으로 연성크랙이 발생하는 것이 관찰되었다. 또한 동적하중에 따른 연성크랙이 발생할때의 크로헤드변위는 정하중과 비교하여서 조금차이가 있었지만, 그 차이는 크지 않았다. 이처럼 동적하중에 따른 크랙발

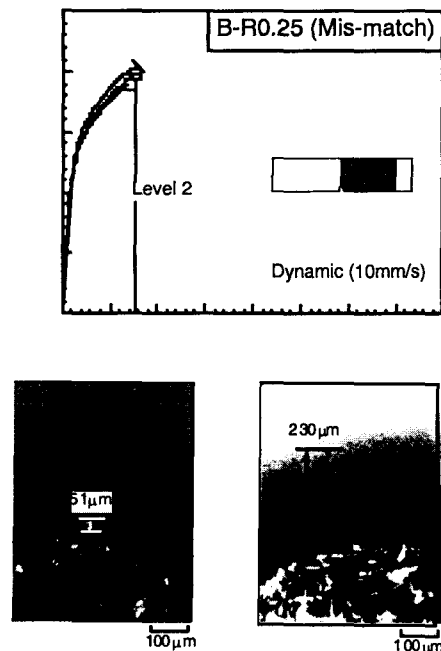


Fig. 4 Ductile crack initiation behavior of B-R0.25 (Mis-match) specimens under dynamic loading, 10mm/s.

생시의 하중은 정적하중과 비교하여 보면 조금 크게 되지만, 연성크랙발생시의 변위 레벨 및 크랙발생 거동에서는 부하 속도의 영향은 거의 받지 않는다는 것을 알았다.

4. 굽힘시험의 노치 표면에서의 연성크랙 발생 조건 및 강도적 불균질의 영향

연성크랙의 발생이 확인 되어진 부재 표면에서의 응력/변형률장의 정보를 정확하게 구하기 위하여, 유한요소법 해석을 실시하였다. 해석모델은 실험에 사용한 시험편의 형상과 사이즈를 동일하게 하였으며, Fig. 5에 요소분할 그림을 나타내었다.

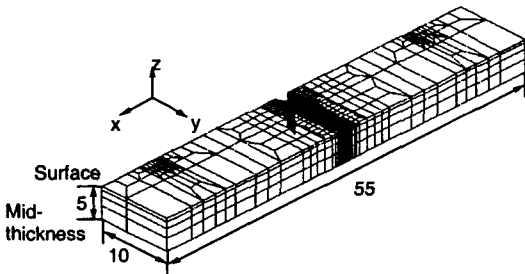


Fig. 5 Mesh division of 3-point bend specimen used for FE-analysis.

동적하중을 받는경우의 노치표면에서의 연성크랙 발생조건 및 강도적 불균질의 영향에 대하여, 본 열탄소성FEM에 의하여 2파라메타를 사용하여 검토했다. Fig 6는 동적 굽힘시험에서의 연성크랙발생이 확인 되어진 시험편의 노치표면의 최대 변형률을 갖는 요소에 주목하여, 본 해석에서 얻은 연성크랙 발생 부하 레벨까지의 상당소성변형률-응력다축도의 관계의 이력을 나타내었다. 상당소성변형률-응력다축도 의 관계의 이력에서는 강도적 불균질의 영향은 거의 보이지 않았으며, 그 한계값또한 강도적 불균질쪽이 균질재에 비하여 조금 낮은값을 나타내었고, 정하중의 한계값과 거의같은값을 나타내었다. 본 열-탄소성 해석에서 얻은 응력/변형률장의 정보를 사용하게 되면, 동적하중을 받는 경우도 2파라메타에 의해서 노치 표면에서의 연성크랙 발생 조건은 불균질의 영향은 거의 보이지 않았으며, 2파라메타 크라이테리언이 부하속도와 강도적불균질의 영향을 받지 않는다는 것을 알았다.

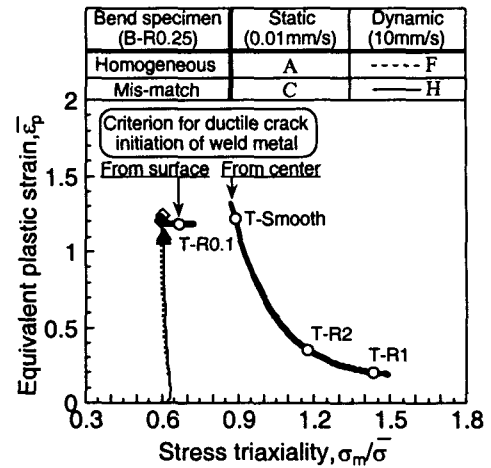


Fig. 6 Condition for ductile cracking using two parameters and for homo geneousand mismatch specimens under dynamic

5. 결 론

이하에 본 연구에서 얻은 결과를 요약하였다.

- (1) 열-응력연성 해석에 따른 상당소성변형률과 응력다축도의 2파라메타를 이용한 크랙발생 한계의 검토로부터 정적 및 동적 굽힘하중에 따른 노치 표면에서의 연성크랙 발생 한계는 강도적 불균질의 영향을 받지 않고 표면에서의 연성크랙발생 형태로써 한계 상당소성변형률도 정리 가능하였다.
- (2) 이상의 결과는 균질재의 정적하중에서의 연성크랙발생 한계조건을 실험 및 FEM해석에 의해서 구하면, 부하양식 과 부하속도가 틀린조건 하 및 강도적 불균질이 존재하는 경우의 연성크랙발생 한계를 2파라메타 크라이테리언을 적용하는 것에 의하여 본 열-탄소성 FEM해석만으로 평가 가능하다는 것을 의미한다.

참고문헌

- [1] AIJ : *Steel Committee of Kinki Branch*, (1995) .
- [2] M. Toyoda : *Welding Journal*, 74 (1995), p. 31s.
- [3] K. Okashita, R. Ohminami, K. Michiba, A. Yamamoto, M. Tomimatsu, T. Tanji, C. Miki: *Journals of the Japan Society of Civil Engineers*, 591(1998), I-43, p.243s.
- [4] M. Toyoda, M. Ohata, N. Ayukawa, G. Ohwaki, Y. Ueda, I. Takeuchi: *Proc. 3rd Int. Pipeline Technology Conf.*, Brugge, Belgium, 2(2000), p.87-102.