

랜덤하중에 의한 RC보의 피로시험법에 관한 연구 Fatigue Test Method for RC Beam Under Random Loading

○권혁문 西林新藏 井上正一
Kwon, Hyug-Moon, S.Nishibayashi, S.Inoue

ABSTRACT

Loads acting on concrete structures are completely random in nature with respect to frequency, magnitude and order of loading, and are essentially distinct from the loads in two-stage and variable load fatigue test. Thus, this study proposes the fatigue test method generating random loads based on the analyzed result.

1. 서론

해양에서 RC 구조물은 내용기간중에 많은 파하중을 받고, 육상에서는 이전의 구조물에 비해 장대화, 경제적인 단면으로 변하고, 교통량의 증가와 차량중량의 증대에 따라 피로에 영향을 미치는 활하중 성분은 이전보다도 더 중요하게 되었다. 이 활하중은 대개 랜덤하중이나 이 때까지는 일정진폭의 변동하중에 의한 피로시험을 주로 하여 왔으나, 실제 작용하는 랜덤하중과는 상당한 차이가 있으리라 생각되므로 본 논문에서는 일반토목구조물의 피로에 대해서 고려하여야 되는 하중특성을 분석하고, 그 결과에 기초한 랜덤하중의 시험법을 제안한다.

2. 랜덤하중의 특성과 피로시험법의 제안

2.1 랜덤하중의 확률특성

토목구조물에서 피로를 대상으로 한 대표적인 랜덤하중은 철도교의 객차하중, 도로교의 륨하중, 해양구조물의 파하중을 들수 있다. 이중, 객차하중의 크기는 승차효율에

의해 주로 지배되기 때문에, 그 하중과 작용빈도의 관계는 정규분포를 따른다(1). 한편, 파하중은 파고와 파하중과는 거의 선형 관계가 성립하고(2), 파고는 겨울 또는 태풍시에 크게 되고, 단기간의 파고-빈도 관계는 레이리히(Rayleigh)분포를(3), 장기간에서 걸쳐서 이 관계는 Fig.1과 같이 지수 분포를 따른다(2). 이 지수분포는 도로교의 운하중 분포(4)에도 매우 적합하다. 이들 파고(H) 또는 운하중(T)과 발생회수(n)와의 관계는 대수-정규지상에서 직선으로 된다. 특히 피로해석에서 일반적으로 작용하중과 구조물에 생기는 응력은 비례관계에 있는 것으로 생각된다.

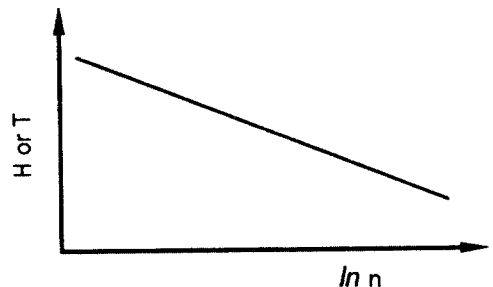


Fig.1 H or T - n relation

피로와 같은 누적손상의 파괴에서는 그 손상이 하중의 크기와 작용회수에 영향을 받기 때문에, 피로평가에서 공용중 구조물에 작용하는 a)임의 하중수준이상과 b)경우에 따라서는 전하중수준의 하중이력을 고려해야 한다. 응력비를 재하응력과 재료강도비로 정의하면, 콘크리트의 경우 하한응력비가 일정할 때 상한응력비(S)와 피로수명(N)과의 관계 즉, S-N선식은 Fig.2와 같이 반대수지에서 직선으로 된다.

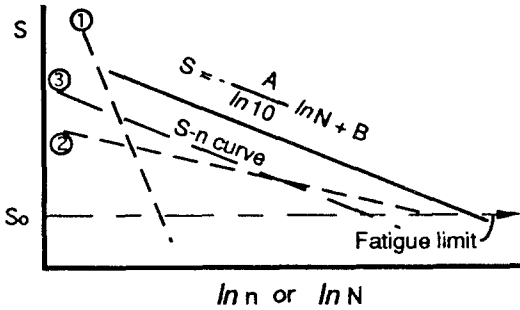


Fig.2 S-N and S-n curves

지수분포를 나타내는 외력을 취하면, 외력에 의한 응력비와 발생회수(n)의 관계는 파선으로 표시한 것과 같이 직선으로 된다. 이것을 기초로 하여 하중이력의 고려에서 상기 a), b) 어느쪽을 택할 것인가는 재료에 피로범위가 존재하는지 존재하지 않는지, 특히, 재료의 S-N선도와 관련해서 평가해야 한다. 즉, Fig.2의 S-N선과 S-n관계를 비교해서 ①과 같이 S-n선의 기울기가 S-N선식의 기울기보다 크면 저 사이클(cycle) 피로에 의한 손상이 크므로 고응력 레벨만 고려해도 좋다. 한편, ②경우는 고사이클 피로에 의한 손상이 커서, 고응력보다도 저응력 작용이 중요하다. ③경우는 고저 양사이클 피로가 같은 정도로 작용하므로 b)와 같이 전하중 이력을 고려할 필요가 있다. 콘크리트에는 피로한계가 없는 것으로 알고 있지만, 피로 한계를 가진 재료에서는 피로한계 이상의 응력에 대해서는 위에서 설명한 방법을 적용하는 것이 좋다.

이하에서는 외력하중형태로 지수분포만을

취급하고 작용하는 하중의 크기를 랜덤으로 하는 피로시험법의 개요에 대해서 설명한다.

2.2 랜덤하중의 피로시험

Fig.2에 표시한 것과 같이 하한하중이 일정한 경우 콘크리트의 S-N선식, 지수분포에 따르는 외력에 의한 응력비(S)와 그 발생회수(n)와의 관계는 각각 다음과 같이 된다.

$$S = -A \log N + B$$

$$S = -(A/\ln 10) \ln N + B \quad (1)$$

$$S = -(1/C) \ln n + B' \quad (2)$$

여기서, A, B는 실험정수이고, C, B'는 현장관측에서 얻어진 계수이다.

식(1), 식(2)로부터 1/C과 A/ln10의 대소 관계를 비교함으로써, 어느 정도크기의 응력비가 피로손상에 큰 영향을 미치는가를 알 수 있다. 또, S-N선식과 S-n관계가 평행 관계에 있는 경우 C값은 다음 식과 같이 된다.

$$C = \ln 10 / A \quad (3)$$

이상과 같이 C값이 구해지면, 외력에 의한 응력비(S)의 확률밀도함수 f(S), 분포함수 F(S)는 각각 다음식과 같이 된다.

$$f(S) = C \cdot \text{EXP}[-C(S-S_0)] \quad (4)$$

$$F(S) = \int_{S_0}^S f(S) ds = 1 - \text{EXP}[-C(S-S_0)]$$

$$\therefore 1 - F(S) = \text{EXP}[-C(S-S_0)] \quad (5)$$

여기서, S₀는 상한응력비(S)의 최소치이고, 피로한(S_L)을 가지는 재료에서는 S₀=S_L가 사용된다.

식(5)에서 F(S)는 0~1의 값을 취하기에 랜덤하중의 피로시험은 아래와 같이 행한다. 즉 0~1의 일양난수 Y를 발생시키고 Z = 1 - Y로 두면, 상식은 식(6)과 같이 된다.

$$Z = \exp[-C(S-S_0)] \quad (6)$$

식(6)으로부터 임의의 Z에 대한 응력비 S_z 는 식(7)과 같이 된다.

$$S_z = S_0 - \ln Z / C \quad (\%) \quad (7)$$

여기서, 상한응력비(S)의 최대치(S_{max})이 기지이고, 이것보다 큰 응력비가 작용하지 않을 경우 $S_z > S_{max}$ 으로 되는 Z는 기각시킨다.

실제의 실험순서는 다음과 같다.

- 1) 일양난수를 발생 (Y or $Z = 1 - Y$)
- 2) 식 (7)에 의해 난수 Z에 대응하는 S_z 의 변환
- 3) $S_z > S_{max}$ 으로 되면 Z는 기각시킨다.
- 4) S_z 와 하한응력비(S_{min})에 해당하는 하중을 계산($S_z \times$ 부재의 극한강도).
- 5) 하중에 대응하는 전압계산.
- 6) S_z 에 대응하는 전압과 하한응력비(S_{min})에 대응하는 전압를 각각 최대 최소로 하여 1주기(1/5Hz)를 55등분하여 각 시간분할에 해당하는 정현파 값을 계산, D/A 변환기를 사용하여 디지털 신호를 아나로그 신호로 변환. (Fig.3 (a)참고)

7) 아나로그 신호를 서보필사 컨트롤러 4880의 외부입력에 입력.

8) 피로 시험기에 부착된 로드셀로부터 얻은 아나로그 신호를 A/D변환기를 통하여 아나로그 신호를 디지털화하여 컴퓨터에 기억시켜 컴퓨터에서 발생시킨 전압과 로드셀로부터 얻은 전압의 차이를 비교분석.

위의 과정을 수행하기 위한 각 장치들의 구성도는 Fig.4와 같다.

Fig.4에서 점선안의 장치들에 의해 위에서 설명한 것이 수행되는 곳이다.

3. 하중 재하 실험의 정도 검사

컴퓨터로부터 발생된 하중의 크기와 피로 시험기를 통해서 부재에 재하된 하중의 크기가 같게 재하되었는지를 검사하기 위해, Fig. 5와 같은 보에 $C=0.136$, $S_{min}=10\%(0.3125 \text{ volt})$, 상한응력비 $S=56\sim 80\%(1.675\sim 2.575 \text{ volt})$ 의 범위에 있는 하중을 島津회사에서 제작한 피로시험기를 이용하여 재하할 경우, 발생된 하중에 대응하는 전압과 실제 하중에 대응하는 전압을 시험기의 로드셀로부터 취하여 비교하면 Fig. 6와 같다. Fig. 6에서 발생된 전압과 피드백 전압에 차이가 생긴 이유는 컴퓨터, A/D

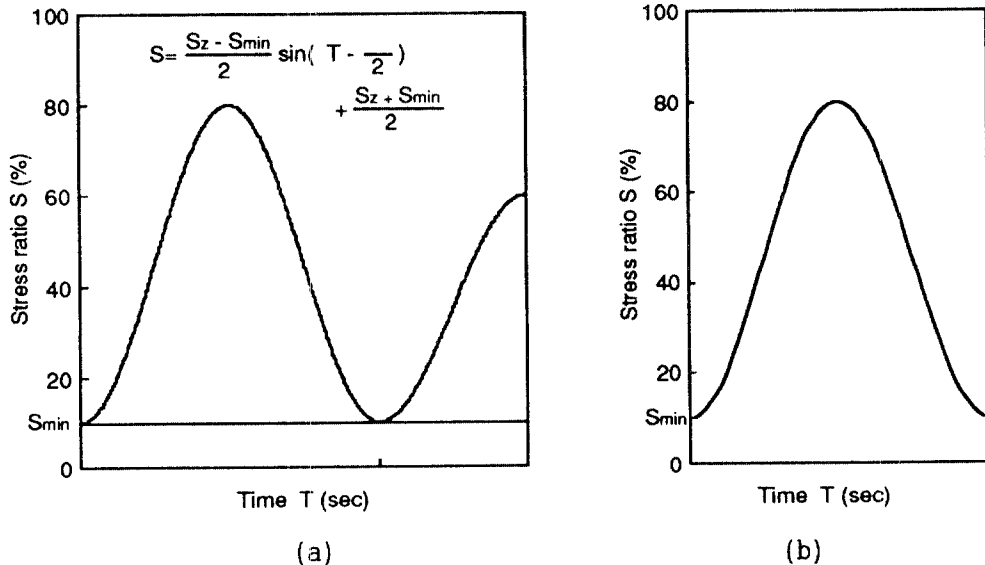


Fig.3 Procedure of random fatigue load test

변환기 및 SERVOPULSER controller 4880을 통하여 발생된 전압은 정확성을 가졌으나, 시험기의 로드셀로부터 취한 전압은 보의 진동에 대한 시험기의 응답부족에 의한 것

으로 생각된다. 이러한 전압의 오차 때문에 랜덤 피로시험의 결과를 분석할 때 발생된 하중의 이력보다 로드셀에서 취한 전압을 하중으로 환산한 하중이력을 이용하여야

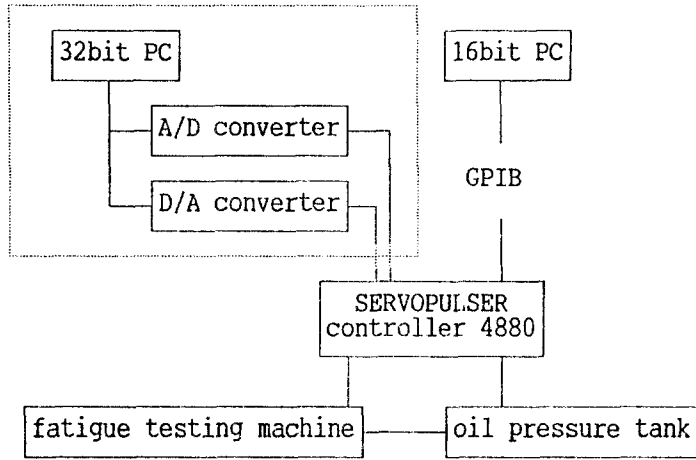


Fig.4 Block diagram for the system of fatigue test

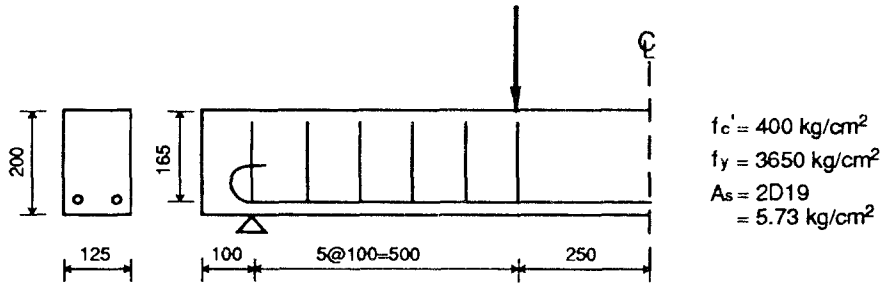


Fig.5 Details of beam

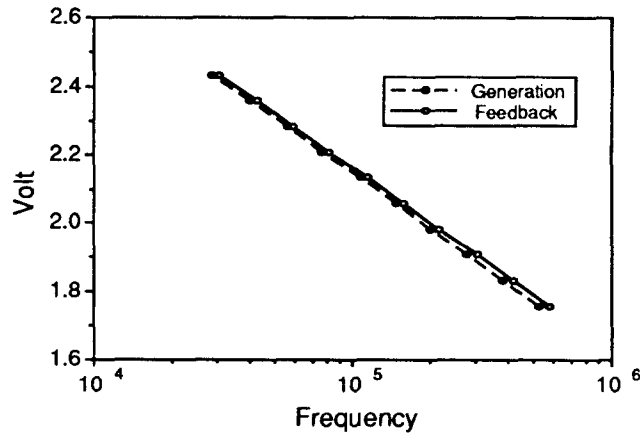


Fig.6 Comparison of Generated volts and feedback volts

한다.

4. 결론

랜덤하중에 의한 피로시험은 컴퓨터 A/D 변환기 및 SERVOPULSER controller 4880을 통하여 발생된 전압은 정확성을 가졌으나 시험기의 로드셀로부터 취한 전압은 보의 진동에 대한 시험기의 응답부족에 의해 오차가 생긴것으로 나타났다. 이러한 전압의 오차 때문에 랜덤 피로시험의 결과를 분석할 때, 발생된 하중의 이력보다 로드셀에서 취한 전압을 하중으로 환산한 하중이력을 이용하여야 하는 것으로 나타났다.

참고문헌

1. 石黒吉男, 列車荷重, 콘크리트·라이브러리-第41號, 鐵筋콘크리트設計法の最近の動向, 1975, pp.83~90.
2. R.G. TincKell, R.Burrows and P.Holmes, Long-term wave loading on offshore structure, Pro. Inst. Civil Engineering, Part2, Vol.61, March 1976, pp.145~162.
3. 合田良實, 波浪の統計的性質とその應力, 水工學に關する夏講習會講義集, B코스, pp.B1~B29, 1975.
4. 朝倉肇, 自動車荷重, 콘크리트·라이브러리-第41號, 鐵筋콘크리트設計法の最近の動向, 1975, pp.75~82.