

반복하중을 받는 철근콘크리트보의 전단피로손상거동

Shear Damage Behavior of Reinforced Concrete Beams under Fatigue Loads



오 병 환*



한 승 환**



이 형 준**



김 지 상***



신 호 상****

ABSTRACT

Recently structural damage has been frequently observed in reinforced concrete bridges due to repeated loads such as vehicular traffic and due to continual overloads by heavy duty trucks. Therefore, the purpose of this experimental study is to investigate the damage mechanism due to fatigue behavior of RC structures under repeated loads. Test variables are stirrup steel amounts, load levels and number of load repetitions. Test beams were bended in cycles loaded by the load-controlled bending method with 3Hz stroke speed. Through this test, the diagonal cracking loads, deflections, strains of concrete and steels, and energy loss of damaged reinforced concrete beams have been measured. The test results show that the deflections of beam and the strains of longitudinal steels and stirrups under cyclic loads increase fast in initial loading stage and becomes stable with constant increasing rate. The beams subjected to the predetermined fatigue loads have been tested up to failure in quasi static condition. The present study gives progressive damage

* 정회원, 서울대학교 토목공학과 교수

** 정회원, 한국도로공사 도로연구소 책임연구원

*** 정회원, 한국통신 선로기술연구소 토목실장

**** 정회원, 서울대학교 토목공학과 박사후 연구원

• 본 논문에 대한 토의를 1998년 4월 30일까지 학회로 보내주
시면 1998년 6월호에 토의회답을 게재하겠습니다.

accumulation phenomenon under fatigue loads in service condition.

Keywords : Reinforced concrete beam, shear, fatigue, cumulative damage

1. 서론

교량구조물등의 구조물에 반복하중이 작용할 때 그 크기가 구조물이 저항할 수 있는 강도보다 작다고 할지라도 구조물의 파괴를 일으킬 수 있다. 이와 같은 현상을 구조물의 피로에 의한 파괴라고 한다. 따라서 철근 콘크리트 보 구조물의 반복하중에 대한 피로거동특성 및 피로내구성 평가가 필요하며, 피로손상의 정량적 평가 및 이를 통한 피로수명예측, 장기적인 보수계획 수립이 필요하다.

기존 콘크리트보의 반복피로하중에 대한 연구가 반복횟수에 대한 파괴하중, 파괴반복회수인 피로한계에 대한 연구가 주로 수행되었었다.^{1,2,3,4} 그리고 각기 다른 특성을 갖는 부재의 개별적인 실험적 결과에 의존하여 피로평가가 수행되었으며, 그리고 손상의 진행과정과 이로 인한 처짐 및 변형도의 증가에 대한 실험적 평가는 미흡하였다. 따라서 본 연구에서는 실험적 분석을 통하여 콘크리트 보 구조물의 반복하중의 피로에 의한 손상의 누적과정을 보의 처짐, 변형도 증가를 관찰함으로써 규명하고자 하였고, 이를 일관적인 평가방법에 활용할 수 있는 방안에 대한 고찰을 수행하였다.

2. 반복하중에 의한 철근 콘크리트 보의 파괴양상

반복하중을 받는 철근 콘크리트 구조요소의 파괴형상은 보통 다음의 네가지로 분류될 수 있다. 그 중 첫째가 사인장에 의한 파괴이고, 둘째가 콘크리트의 압축파괴, 세 번째가 콘크리트와 주철근의 부작이 파괴되는 것과, 넷째로 인장 철근의 파괴가 그 다음 양상이다.^{5,6}

이와 더불어 본 연구에서 중점을 둔 파괴형태인 사인장파괴는 초기 하중에서 작은 휨균열이 발생하고, 하중이 커짐에 따라 휨과 전단력에 의한 이차적인 사인장 균열이 복부로부터, 또는 휨균열의 진전으로 받

생한다. 즉 Fig. 1과 같이 휨에 의한 인장응력과 전단력의 조합으로 경사진 인장 주응력을 갖게 되고, 이로부터 사인장 균열이 발생하고 반복하중에 의해 이러한 사인장 균열의 폭이 커지게 된다.

전단철근이 없는 보의 경우 콘크리트 보의 하중작용부와 지점부를 연결하는 이차적인 사인장 균열이 급작스럽게 발생하여 진전되며, 이의 진전으로 콘크리트 압축부가 파괴되는 양상을 나타내기도 한다. 이러한 사인장 균열은 부재 전체의 파괴를 일으키며, 따라서 전단철근이 없는 경우의 콘크리트 보의 전단강도는 사인장 균열 강도와 거의 같은 값이 된다.

전단철근이 있는 경우는 사인장 균열이 발생하고 반복되는 하중에 의해 사인장 균열이 통과하는 전단철근이 항복하고, 아울러 인장철근이나 콘크리트 압축부가 파괴되어 최종적인 부재의 파괴를 일으키게 된다. 또 때로는 주인장 철근과 콘크리트 부작면의 절리가 일어나 부재의 파괴를 일으키기도 한다.

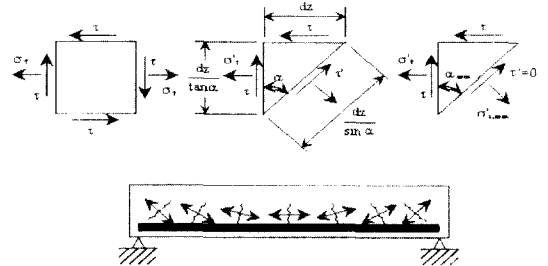


Fig. 1 Stress diagram of RC beam subjected flexural-shear forces

3. 실험변수 및 시편

콘크리트 보는 하중에 의한 단면의 전단력을 균열이 발생되지 않은 콘크리트 단면의 전단저항, 전단철근의 저항, 주인장 철근의 다우넬 효과, 콘크리트 균열면 사이의 골재 맞물림 작용 등에 의해 부담한다.

그러나 이러한 전단저항은 피로효과에 의해 점차 감소되어 결국 구조요소의 파괴를 일으키기도 하고 파괴에까지는 이르지 않더라도 과도한 처짐과 과도

한 변형을 유발하여 사용성에 문제¹⁾를 야기하기도 한다.

따라서 이러한 손상은 전체적인 처짐의 증가와 주철근 및 전단철근의 변형도의 증가를 유발하는데 이는 균열의 진전에 의한 전단 저항 단면의 감소, 골재 맞물림 작용의 저항성 감소, 콘크리트의 비선형성으로 인한 변형연화 및 반복하중에 의한 크리프, 그리고 콘크리트와 철근의 접촉면 부착저항의 감소로 인한 미끄러짐 등과 같은 원인에 의해 발생한다.

본 연구에서는 반복되는 하중을 받는 콘크리트 보의 전단하중에 대한 거동 및 전단철근의 거동 분석에 대한 실험적 연구를 수행하여 사인장 균열의 발생, 사인장 균열 후 반복하중하의 보의 거동, 전단철근의 변형도 및 응력변화를 실험적으로 고찰해 보기로 한다.

따라서 반복하중 상태에서 변위의 변화, 변형도의 변화로 손상이 누적되는 과정을 이해하고자 하는데 본 실험의 목적을 갖는다.

3.1 실험변수

본 실험에서는 전단하중에 대한 구조요소의 거동 및 전단철근, 주철근, 압축철근의 변형도 변화, 부재 잔류강도(일정횟수 반복재하후 정적과괴시험)에 초점을 맞추어 반복하중에 따른 이들의 변화 즉 손상의 과정을 살펴보는 것을 목적으로 하여, 전단철근의 배근과 인장철근량, 압축철근량 등을 주요 변수로 하여 실험계획을 수립하였다.

다음의 Table 1은 이러한 변수들과 이에 해당되는 시편을 간략히 나타낸 것으로 앞서 언급한 바와 같은 변수들로 구성되어 있다.

전단철근은 소요 배근량을 기준으로 100% 배근(B-Series)과, 75% 배근(C-Series) 그리고 전단철근이 배근되지 않은 경우(A-Series) 등의 세가지 시리즈로 구성되어 있다. 전단철근이 배근되지 않은 경우는 반복하중을 정적과괴 실험의 극한하중(Pu)을 기준으로 이 극한하중의 80%를 최대하중으로하고 극한하중의 40, 50, 60%를 하중범위로 하여 반복재하횟수를 달리하여 반복하중을 재하하였고(각 Series의 번호로 구분), 전단철근이 배근된 경우는 정적과괴 실험의 전단철근 항복하중(Py)을 기준으로 이의 80%를 최대 하중으로 하고, 40, 60, 70%를 반

복하중의 작용범위로 하였다. 그리고 최대하중은 콘크리트의 사인장 균열하중 이상으로 하여 사인장 균열 발생이후 전단철근의 거동에 초점을 맞추었다.

주인장 철근비는 철근단면적을 보단면적(bd)으로 나눈 값이고, 전단철근비는 전단철근의 면적을 전단철근 간격과 보의 깊이를 곱한 전단면적의 유효단면으로 나눈 값이다.

Table 1 Test variables and specimens

시편번호	주철근비 (ρ)	전단철근 (ρv)	제하방법	최대하중	하중범위 (%)	작용횟수		
AS-0	0.023	0	정적	P ₁	-	-		
AS-1					반복	0.8P _y	40	10 ¹
AS-2							60	10 ¹
AS-3							50	10 ¹
AS-4							40	10 ¹
BS-0	0.023	0.0048	정적	P ₁	-	-		
BS-1					반복	0.8P _y	40	10 ¹
BS-2							40	10 ¹
BS-3							40	10 ¹
BS-4							60	10 ¹
BS-5							70	10 ¹
CS-0	0.023	0.0032	정적	P ₁			-	-
CS-1					반복	0.8P _y	40	10 ¹
CS-2							60	10 ¹
CS-3							70	10 ¹
CS-4							70	10 ¹
CS-5							70	10 ¹

3.2 실험시편

1종시멘트, 쇠석골재, 이형철근을 사용하여 다음의 Fig. 3과 같은 철근콘크리트보를 실험시편으로 제작하였으며 각 재료의 특성은 다음의 Table 2, 3과 같다. 그리고 실험시편의 형상은 구형의 일정단면으로서 다음의 Fig. 3과 같은 배근을 갖는다. 시편은 세 시리즈로 이루어져 있는데 각 시리즈의 배근은 그림에서와 같이 주철근, 전단철근, 압축철근으로 배근되어 있다.

인장 주철근은 4000kg/cm² 이상의 항복강도를 갖는 SD40의 D22 이형철근을 사용하였다. 이 인장철근의 정착은 지점부인 단부에서 상향직각으로 절곡하여 부착 및 정착성을 확보하도록 하였다. 그리고 압축철근은 SD40의 D16 이형철근을 사용하였고, 전단철근은 3000kg/cm² 이상의 항복강도를 갖는 D10의 이형철근을 사용하였다. 전단철근이 배근된

B-series와 C-series에서 전단철근의 간격은 각각

Table 2 Mix proportions and compressive strength of concrete

Water (kg/m ³)	Cement (kg/m ³)	Fine Aggregate (kg/m ³)	Coarse Aggregate (kg/m ³)	Compressive strength (MPa)
153	340	772	1082	29.5

Table 3 Mechanical characteristics of reinforcing steel bars

	Size	Yield Strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Elastic Modulus (MPa)
Bars	D22, D16	470	650	2.04×10^4
Stirrup	D10	350	460	2.02×10^4

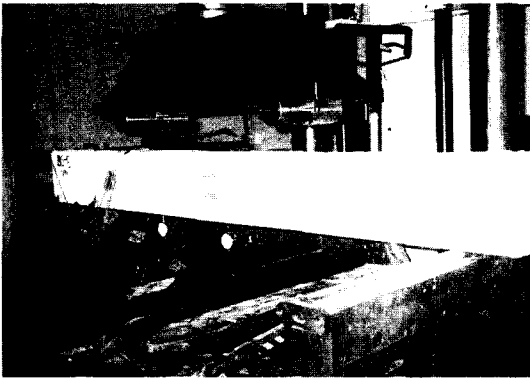


Fig. 2 Test specimen in the loading frame

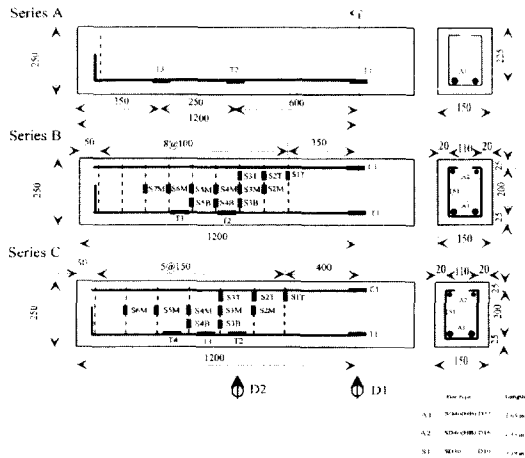


Fig. 3 Section properties and gage points of specimens

10cm, 15cm로 하여 전단력이 지배적인 지점과 하중재하점사이의 전단지간에 배근하였다.

각 실험시편은 동일한 콘크리트를 사용하여, 배합강도 290kg/cm³를 갖는 콘크리트를 사용하여 제작되었고, 제작시 압축강도와 휨강도의 추정을 위해 실린더 공시체와 보 공시체를 같이 제작하였다.

4. 실험방법

4.1 재하장치

앞서 언급한 바와 같은 시편은 거푸집제작, 철근조립, 콘크리트 타설, 양생, 탈형 등의 과정을 거쳐 제작과정을 마치게 된다. 제작과정을 마친 시편을 동적구조 시험기 위에 거치하고, Fig. 4와 같이 두 개의 대칭하중을 받고, 단순지지되는 휨시험방법에 의해 정적 및 반복하중을 재하하였다.

재하장치는 좌우 편심 및 전후 편심을 조정하여 하중이 대칭적으로 재하되도록 하고, 단순지지 조건이 유지되도록 지점은 힌지 및 롤러 형태로 이루어져 있다.

하중재하점의 시편상부는 그라인딩에 의해 편평성을 유지하도록 미리 준비하고 지점에서 하중재하점사이의 거리 즉 전단거리는 아치 효과에 의한 전단저항 효과가 영향을 크게 미치지 않는다고 보고된 임계점 2.5d를 선정하여 재하하였다.

4.2 재하방법

정적시험의 하중재하는 변위제어방법으로 이루어졌고, 반복하중재하는 하중제어 방법에 의해 이루어

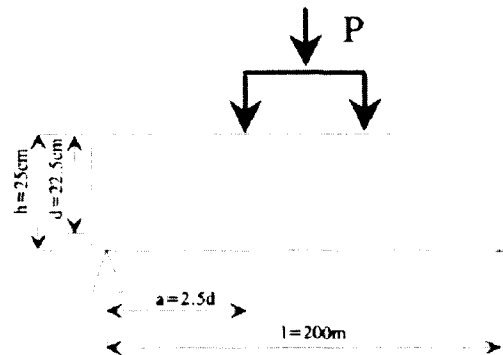


Fig. 4 Loading systems of test specimens

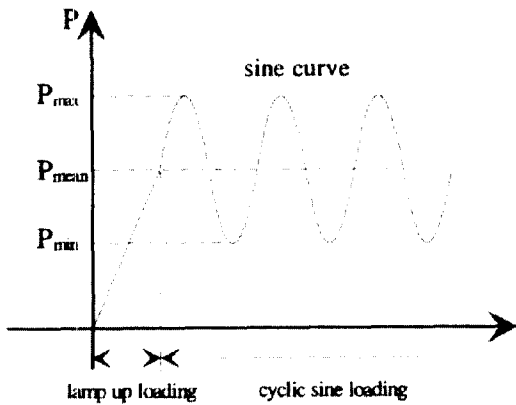


Fig. 5 Fatigue loading pattern

졌다. 특히 반복하중은 재하형태를 Fig. 5와 같이 사인함수의 형태로하여 자동제어 되도록 하였으며, 첫 하중은 작용하는 반복하중 범위의 중간값까지 선형으로 증가시킨 후 반복하중이 재하되는 방법을 취했다. 반복하중의 재하속도는 문헌¹⁾에 의해 재하속도가 큰 영향을 끼치지 않는 것으로 보고된 바 있는 3Hz이하로 하였으며, 각 10의 지수배에 해당하는 하중의 재하시에는 반복하중의 재하속도를 수동으로 조절하여 동적자료수집에서 발생될 수 있는 노이즈 없이 하중과 변위, 변형도의 관계를 측정하도록 조절하였다.

하중재하점과 지지점은 고무 패드를 깔아 하중의 전달과 지지조건을 이상적인 조건과 일치하도록 유도하였으며, 반복하중 재하시 불필요한 시험체의 진동이나 간섭을 억제하도록 하였다.

4.3 측정방법

하중재하를 통한 시험체 반응의 측정은 앞서의 Fig. 3과 같이 각 시리즈 별로 설치된 시편내부의 철근변형률계, 그리고 외부의 콘크리트 변형률계와 변위계를 써서 얻어내었다. 이와 함께 각 응답의 측정시 구조시험기에 내장된 로드셀로부터 얻어지는 하중값을 동시에 측정하였다.

5. 실험결과

실험결과는 전절에서 언급된 각 게이지 위치로부터의 변형도 및 변위값과 작용하중의 관계, 또는 각

측정값의 하중반복 횟수와와의 관계 등에 대하여 기술하기로 한다.

정적시험의 경우는 하중과 변형도 및 변위의 관계, 반복하중 재하 시험의 경우는 변형도와 변위의 관계 외에 하중작용 횟수와 변위 및 변형도의 관계가 추가적으로 얻어지므로 이에 대한 결과들이 다음에 기술하는 바와 같다. 반복횟수에 대한 측정값의 변화는 10의 지수승, 즉 1, 10, 100, 1000, 10000, 100000 사이클에서 얻어지는 결과를 이용하여 도해하였다. 이때 각 측정횟수에서의 측정은 하중재하의 속도를 느리게 하여 노이즈에 의한 간섭이 작은 상태에서 충분한 결과가 얻어지도록 하여 상대비교하였다.

특히 각 반복하중 사이클에서 사이클 곡선에서 얻어지는 에너지의 손실량을 측정하여 계산하는데 이는 본 실험의 실험체인 구조부재에서의 손상을 표현하는 값이 된다. 그리고 하중제어를 통한 동일하중의 반복에 의해서도 발생하는 콘크리트, 압축철근, 인장철근, 전단철근 변형도의 변화와 처짐의 변화등이 결과물로 도해될 것이다.

5.1 처짐

시편의 중앙하부와 지간 1/4 지점 하부에 설치된 처짐계로 하중에 따른 처짐변화와 반복횟수(N)에 따른 처짐변화를 측정할 수 있었다. 다음의 Fig. 6은 하중의 반복재하에 따른 하중, 처짐관계를 나타낸 것으로 각각의 하중 증가 및 감소 부분의 한 사이클이 10의 지수승에 해당하는 하중재하시의 결과이다. (단 두 번째 사이클만이 $N=2$ 일때이다.) 즉 첫 번째는 $N=1$ 일때이고, 세 번째는 $N=10^2$ 일때이고, 네 번째, 다섯 번째, 여섯번째는 $N=10^3, 10^4, 10^5$ 일때이다.

반복하중 재하시 최대하중에서의 처짐량 변화는 반복횟수에 대하여 초기 1~10, 100 회 까지 처짐의 변화가 빠르다가 그 이후로 변화율이 감소하여 처짐이 증가하는 것을 알 수 있었다. 하중재하가 10^4 정도 반복재하되었을 때 약 10~24% 까지 처짐이 증가하는 것을 알 수 있었다.

하중의 재하에 따른 균열의 진전이나 새로운 균열의 발생은 크게 눈에 띠지 않았고 초기에 발생한 균열의 확대와 콘크리트의 변형증가 등에 의해 처짐이 증가하는 것을 알 수 있었다.

5.2 변형도

최대 및 최소하중을 일정하게 하여 반복재하되는 하중상태에서 철근 및 콘크리트의 변형도 변화가 측정되었다. 하중의 반복재하에 따라 처짐에서와 마찬가지로 일정한 변형도의 증가가 관찰되었다. 그러나 전단철근의 경우 변형도의 변화가 상대적으로 분산성을 많이 나타내는 결과를 보였는데 이는 부재내의 사인장 균열의 경로에 따라 전단철근의 변형도가 크게 영향을 받은 것으로 판단되었다.

주인장철근의 경우 첫 번째 재하에 대해 약 5~10% 정도의 변형도 증가가 10^5 회 재하에서 발생하는 것을 알 수 있었고, 전단철근의 경우에는 변형도의 증가량이 훨씬 크게 발생하는데 일부 측정점의 경

우 초기 재하시 변형도의 200% 이상으로도 증가되는 것을 관찰할 수 있었다.

다음의 Fig. 7은 주철근 변형도의 반복하중에 대한 변화를 나타낸 것이고, Fig. 8, Fig. 9는 전단철근의 반복하중에 대한 변화를 나타낸 것이다.

5.3 파괴양태

본 실험에서 시험 부재의 파괴 양상은 크게 두가지로 구분되어 질 수 있는데, 전단철근이 없는 경우와 있는 경우에 큰 차이점을 보이고 있다. 전단철근이 없는 경우는 휨균열 이후 생성된 사인장 균열의 발생 직후 제2 사인장 균열을 유발하며 급작스러운 파괴를 일으킨다. 특히 사항으로는 파괴시 인장철근부의 부착이 파괴되는 모습을 보였다.

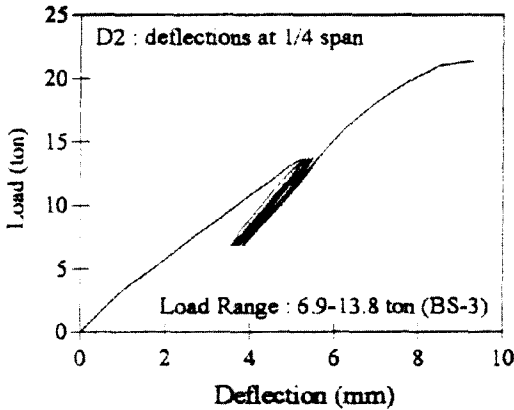


Fig. 6 Load deflection curve of a specimen

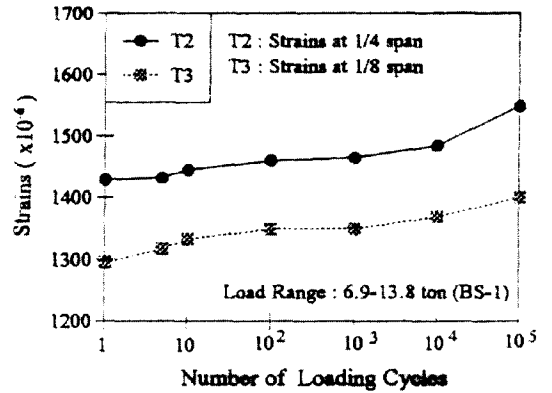


Fig. 7 Variations of maximum longitudinal steel strains to repeated loads

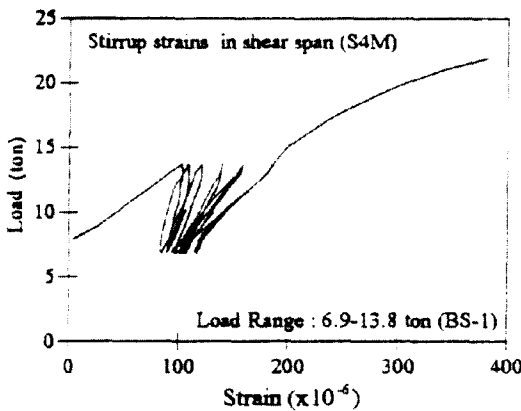


Fig. 8 Stirrup strains to repeated loads

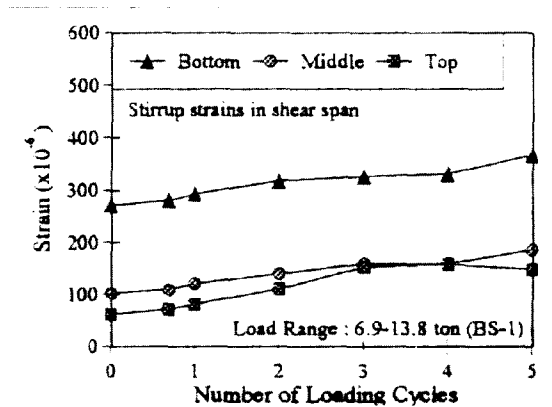


Fig. 9 Variations of maximum stirrup strains to repeated loads

전단 철근이 있는 경우는 휨 균열과 복부 중앙의 사인장 균열이 연결되어 파괴 균열이 형성된다. 휨 균열의 경우 하중의 증가에 의해 점진적으로 증가하고, 복부 전단 균열은 급작스럽게 발생한다. 이렇게 형성된 사인장 균열은 압축철근 부에까지는 갑자기 형성되나 그 이후에 상당한 하중을 더 지탱한다. 반복하중이 작용하는 경우에는 사인장 균열이 형성되고 반복하중을 받으면서 균열의 폭이 점진적으로 증가하는 모습을 보인다. 전단철근이 있는 경우는 사인장 균열의 발생이후 파괴가 바로 유발되는 것은 아니었고 사인장 균열의 개수도 전단시간에 걸쳐 여러개가 나타나는 것을 볼 수 있었다. 그리고 최종적인 파괴양상도 사인장 균열에 의한 보부재 절단으로 인한 파괴라기 보다는 사인장 균열로 인한 단면감소와 전단철근의 항복으로부터 인장철근의 항복과 함께 최종적인 파괴를 일으키는 양상을 보였다. 일부 시편의 경우 사인장 균열의 발생이후 콘크리트 압축부의 파괴로서 부재전체의 파괴가 발생하기도 하였다.

5.4 사인장 균열하중

사인장 균열하중을 각 시편에 대해 분석할 수 있었는데, 세가지 전단철근의 양에 대한 비교가 수행될 수 있었다. 즉 전단철근이 없는 경우($\rho_v=0$), 전단철근 요구량이 배근된 경우($\rho_v=0.0048$, $s=10\text{cm}$), 전단철근 요구량의 67%($\rho_v=0.0032$, $s=15\text{cm}$)가 배근된 경우의 세가지이다. 반복하중을 받는 시편도 작용 최대 하중을 사인장 균열하중 이상으로 설정이 되었기 때문에 첫 번째 하중 반복시 균열하중을 측정할 수 있다. 다음의 Table 4는 각 시리즈별 사인장 균열하중을 측정할 것이다. 이 사인장 균열하중은 육안에 의한 관찰에 의존하기 보다는 보 단면 중앙부의 전단철근 변형도의 변화를 관찰함으로써 해서 손쉬운 비교적 정확하게 얻어낼 수 있었다. 전단철근의 변형도를 보면 전단부의 균열이 발생하기 전에는 매우 작은 값을 보이다가 전단균열이 발생하면 급격한 변형도의 증가를 일으킨다. 따라서 이로부터 사인장 균열의 발생하중을 구할 수 있었다.¹⁰⁾

Table 4에서 보는 바와 같이 전단철근량에 따라 사인장 균열하중이 증가하는 경향을 보이나 전단철근을 고려한 전단강도의 증가에 비해 큰 폭의 증가는 없는 것으로 나타났다.

Table 4 Diagonal cracking load

(단위 : ton)

	전단철근량(ρ_v)	시방기준 (콘크리트 전단강도)	실험결과
A-series	0	3.17(간략식) 5.18(엄밀식)	5.96
B-series	0.0048		7.35
C-series	0.0032		6.28

* 참고 : 전단철근의 전단강도(시방기준) A-Series : 0.00, B-series : 9.63, C-series : 6.42 tons.

5.5 반복하중에 의한 에너지 손실

반복하중 재하시 하중 증가부의 곡선(Loading Path)과 하중 감소부의 곡선(Unloading Path) 사이의 면적을 통해 전체 시스템에서 발생하는 에너지 손실을 다음의 식 (1), (2)와 같이 계산해 낼 수 있다. 그리고 이런 에너지 손실, 그리고 앞서 언급된 변형도의 변화에 의해 구조 요소의 손상을 계산하는 지표가 될 수 있을 것으로 판단된다.

- A-Series의 경우

$$R = \frac{\text{Cyclic Dissipated Energy}}{\text{Static Failure Energy}} = \frac{\int_{\delta_0}^{\delta_u} \text{each cycle } P d\delta}{\int_{\delta_0}^{\delta_u} P d\delta} \quad (1)$$

- B-Series, C-Series의 경우

$$R = \frac{\text{Cyclic Dissipated Energy}}{\text{Static Yielding Energy}} = \frac{\int_{\delta_0}^{\delta_u} \text{each cycle } P d\delta}{\int_{\delta_0}^{\delta_u} P d\delta} \quad (2)$$

여기서, ϵ_u 는 부재파괴시의 극한변형도이고, ϵ_y 는 전단철근 항복시의 전단철근 변형도를 나타내는 것

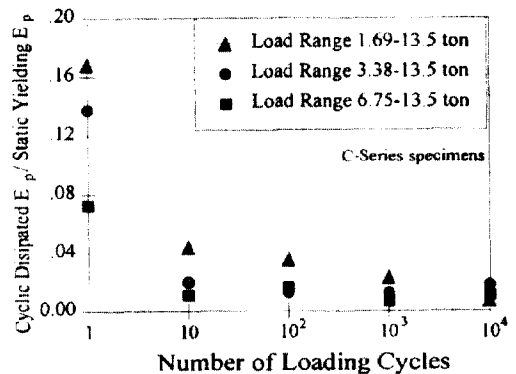


Fig. 10 Energy dissipations to repeated loads

이다. 단 다음의 Fig. 10과 같은 손상의 계산은 모든 반복재하에 대해 계산된 것이 아니라 10의 지수승에 해당되는 재하시에만 측정이 되었고, 또 에너지 손실량은 잔류변형에 의한 손실까지를 포함하는 값이다. 특히 첫 번째 재하의 경우는 휨균열 및 사인장 균열을 발생시키는 에너지 손실을 포함한 것으로 반복재하에 의한 에너지 손실은 아니다.

본 재하하중의 경우 첫 번째 재하에서 사인장 균열이 형성되게 최대하중을 사인장 균열하중이상으로 설정하였기 때문에 첫 번째 하중재하시에 균열이 형성되는 것으로 가정하여 손실을 평가할 수 있다.

6. 결론

본 연구는 철근콘크리트 보구조의 반복하중에 의한 전단영역에서의 손상거동을 분석하기 위하여 실험적으로 하중재하회수에 따른 처짐 및 변형도의 변화 등에 대한 거동분석을 수행하였다. 본 연구는 사인장 균열에 의한 보부재의 균열후 반복하중에 대한 거동변화를 대상으로 하였으며 실험적 결과로 부터 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 반복하중의 재하에 의해 10⁵회 재하후 최대처짐은 초기 처짐량의 10~24%까지 증가하는 것을 관찰할 수 있었고, 전단철근 변형도의 경우 사인장 균열 발생후 반복하중에 의해 최대 200% 이상까지도 증가되는 것으로 나타났다.

2. 전단철근의 배근에 의해 설계식에 의한 공칭전단강도는 33% 정도 증가하나($\rho_v=0.0032$ 과 $\rho_v=0.0048$ 의 비교), 실험결과에 의한 사인장 균열하중의 증가는 17% 정도에 불과한 것으로 나타났다. 특히 이런 사인장 균열하중은 각각의 극한전단강도의 65%, 57%로서 전단철근비가 커질수록 극한전단강도에 대한 사인장 균열하중의 비는 감소되는 것으로 나타났다.

3. 균열관찰과 에너지손실량의 추이분석을 통해 사인장균열에 의한 철근콘크리트보의 전단피로손상은 초기재하시에 형성된 균열의 확대와 콘크리트의 변형도 증가, 강성의 감소 등에 집진적으로 발생하는 것으로 나타나고 있다.

4. 반복피로하중에 의한 철근콘크리트보의 집진적

손상은 안전성 측면에서 뿐만아니라 사용성의 측면에서 처짐 및 변형도의 증가현상을 정확히 평가하여야만 하며, 본 연구결과가 이에 유용하게 활용될 수 있다.

참 고 문 헌

1. Hilsdorf, H. K., and Kesler, C. E., "Fatigue Strength of Concrete Under Varying Flexural Stresses," ACI Journal, Proceedings V.63, No.10, Oct. 1966, pp.1059-1076.
2. Wascheidt, H., "On the Fatigue Strength of Embedded Concrete Reinforcing Steel," Doctoral Thesis, Technical University of Aachen, Germany, 1965.
3. Gronqvist, N. O., "Fatigue Strength of Reinforcing Bars," Current Paper No. CP7/71, Building Research Station, Garston, Watford, Mar. 1971, 31 pp.
4. Oh, B. H., "Fatigue-Life Distributions of Concrete for Various Stress Levels," ACI Material Journal, Vol.88, No.2, Mar-Apr. 1991, pp.122-128.
5. Chang T. S. and Kesler C. E., "Static and Fatigue Strength in Shear of Beams with Tensile Reinforcement," ACI Journal, Vol.29, No.12, June, 1958, pp.1033-1057.
6. Raju, N. K., "Small Concrete Specimens Under Repeated Compressive Loads by Pulse Velocity Technique," Journal of Materials, V.5, No.2, June 1970, pp.262-272.
7. Shah, S. P., Fatigue of Concrete Structures, ACI SP-75, American Concrete Institute, Detroit, 1982.
8. Murdock, J. W., "A Critical Review of Research on Fatigue of Plain Concrete," Bulletin No. 475, Engineering Experiment Station, University of Illinois, Urbana, 1965, 25pp.
9. ACI-ASCE Committee 426, "Suggested Revisions to Shear Provisions for Building Codes," ACI Journal, Proceedings V.74, No.9, Sept. 1977, pp.458-469.

요 약

최근들어 반복하중에 의한 철근콘크리트 구조물의 손상이 자주 발견되고 있으며 교량 등의 구조물 등은 때때로 과적차량에 의한 초과하중을 받아 이러한 피로손상이 심화되고 있다. 본 연구에서는 이러한 반복하중을 받는 철근 콘크리트보의 누적피로손상에 대한 실험적 연구를 수행하여 피로하중에 의한 철근콘크리트보의 손상과정을 규명하고자 하였다. 실험 변수를 전단철근의 양과 반복되는 하중의 크기 및 반복횟수로 하여 실험부재를 제작하였으며, 하중제어에 의한 휨시험법에 의해 3Hz의 반복하중을 시편에 재하하였다. 사인장 균열하중과 사인장 균열후 반복하중에서의 보의 손상누적거동 즉 처짐, 전단철근의 변형도, 에너지 손실 등의 변화를 실험적으로 평가하였으며, 이를 통하여 반복하중에 의한 누적손상에 의해 철근 콘크리트보의 처짐 및 전단변형도가 초기하중상태에서는 급격히 증가하다가 이후 점진적으로 증가하는 것을 규명하였다. 본 연구의 결과는 사용하중상태에서 점진적으로 발생할 수 있는 피로손상의 누적과정을 기술하여 주고 있다.

(접수일자 : 1997. 4. 9)