

매시브한 콘크리트에 매설된 철근의 Pull-out 거동

The Experimental Study on Pull-out effect of Rebars embedded in Massive Concrete

천정희* 선창호** 김익현*** 이종석****

Chun, Jung Hee Sun, Chang Ho Kim, Ick Hyun Lee, Jong Seck

ABSTRACT

The seismic performance of bridge piers is evaluated in general by displacement terms, which are yielded not only by the member deformation but also by the pull-out of longitudinal bars embedded into foundation concrete. It is, therefore, important to understand the characteristic of pull-out effect in the view of seismic performance. In this study the specimens with different material strengths and diameters of re-bar were tested and the stree-slip were reported.

1. 서론

일반적으로 지진에 대한 교각의 내진성능은 항복변위에 대한 극한변위의 비로 표현되는 변위연성도로 평가된다. 횡력을 받는 교각의 상단변위에는 부재의 변형에 의한 변위뿐만 아니라 기초부에 깊게 매설된 주철근의 뽑힘(Pull-out)에 의해서 발생하는 변위도 포함된다. 이러한 주철근의 뽑힘량은 주철근의 지름에 크게 영향을 받기 때문에 축소모델 실험에서의 변위연성도와 실물실험에서의 변위연성도는 다르다. 국내에서도 철근의 부착응력과 슬립의 관계에 대한 다수의 연구가 수행되었지만 이는 대부분 매설깊이가 작은 철근을 대상으로 하여 기초부에 깊게 매설된 주철근의 슬립특성에는 적용이 불가능하다. 본 연구에서는 단부에서의 슬립이 발생하지 않도록 콘크리트에 깊게 매설된 철근시험체를 대상으로 pull-out 실험 수행하여 주철근의 응력(하중)-슬립량의 특성을 살펴보았다.

2. 시험체의 구성 및 Pull-out실험

교각 기초부에 깊게 매설된 주철근의 경우와 같이 단부에서 슬립이 발생하지 않는 철근의 풀아웃량은 콘크리트 강도, 철근강도, 철근지름, 철근개수, 철근간격, 하중패턴등 다양한 인자에 영향을 받는다. 따라서 이들 인자가 포함되도록 시험체를 설계, 제작하였으며 이번 실험에서는 이들 시험체 중 일부에 대해 Pull-out실험을 수행하였다. 시험체의 설계변수는 표 1과 같다. 각 모델에 대해 2개씩 제작하였

* 정회원, 울산대학교 건설환경공학부 석사과정

** 정회원, 울산대학교 건설환경공학부 박사수료

*** 정회원, 울산대학교 건설환경공학부 부교수

**** 정회원, 울산대학교 건설환경공학부 교수

다. 그림 1은 시험체의 제원을 나타낸다. 시험체의 단면 크기는 600×600mm이며 철근의 묻힘 깊이는 1m이며 단부 슬립을 방지하기 위하여 단부에 후크를 설치하였다.

실험시 철근의 잡는 그림부분에서의 국부적인 파단을 방지하기 위하여 예상 파단 부분에 그라인딩 작업을 실시하여 철근의 단면적을 다소 감소시켰다. 철근의 Pull-out 실험은 UTM(Universal Test Machine)을 사용하여 실시하였다. 그림 2는 시험체를 UTM에 설치한 모습이다. 철근의 슬립량은 철근이 매설부 상단에서 1mm떨어진 부분에서 측정하였다.

표 2 요소 시험체

번호	시험체명	D(mm)	묻힘깊이(D)	f_{ck} (MPa)	f_y (MPa)	비고
1	C24S325	25	40	24	300	
2	C24S425	25	40	24	400	
3	C40S425	25	40	40	400	
4	C60S425	25	40	60	400	
5	C60S525	25	40	60	500	
6	C40S513	13	77	40	500	
7	C60S513	13	77	60	500	

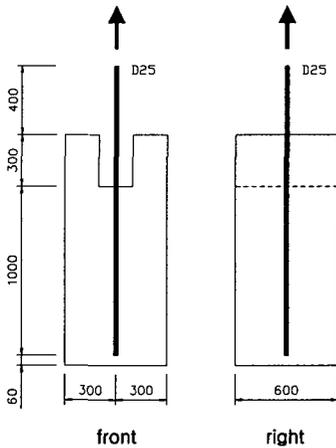


그림 1 시험체 제원

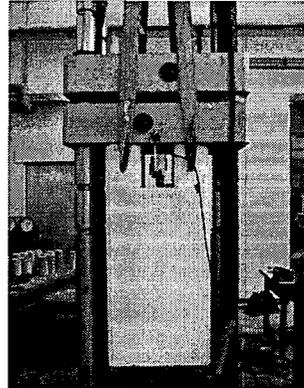
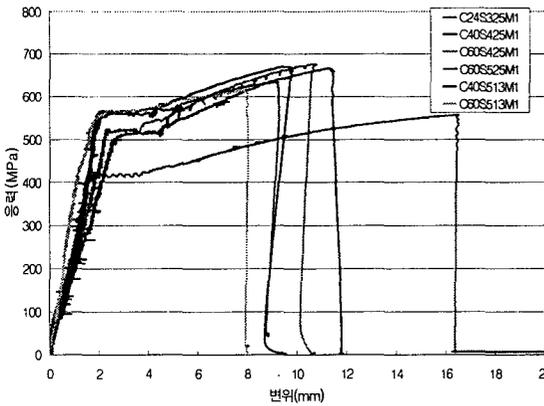


그림 2 실험 모습

3. 실험결과 및 분석

각 시험체의 하중(철근의 응력)과 슬립량의 관계를 나타내면 그림3과 같다. 재료강도가 작은 시험체(C24S325)의 경우 다른 시험체에 비해 상당히 큰 슬립량을 보였다. 그림4와 그림 5는 시험체 S24S325의 응력-슬립량의 관계와 단철근의 인장시험 결과이다. 그림안의 ①은 단철근의 항복점으로 슬립량이 갑작스럽게 증가하는 시점(그림내의 ②)은 단철근의 항복강도 보다 조금 큰 하중상태에서 발생하였다. 이는 다른 시험체에서도 모두 동일하게 나타났다. 표 3은 항복시와 특정하중시의 슬립량 비교이다.

전술한바와 같이 교각의 내진성능은 일반적으로 변위연성도로 평가하게 되므로 특정하중시의 슬립량과 항복시의 슬립량의 비에 대한 특성을 살펴보면, 철근지름이 D25인 모델의 경우 콘크리트 강도와



철근의 강도가 가장 작은 모델이 8.8로 가장 크다. 철근의 강도가 같고(400MPa) 콘크리트의 강도 각각 400MPa인 모델(C40S425)과 500MPa인 모델(C50S425)은 거의 같은 값을 보였다. D13을 사용한 모델의 경우에는 콘크리트 강도가 큰 모델에서 다소 큰 값을 나타내었다. 콘크리트 강도가 큰 경우 항복시의 슬립량이 상대적으로 작기때문인데 이는 부착응력이 커서 철근의 변형률이 매설깊이에 따라 크게 감소하기 때문으로 판단된다. 모델 C60S425와 C60S525를 비교하면 철근의 강도가 클때 슬립량의 비는 크다. 이는 철근의 강도가 커지면 철근에 작용하는 하중이 커지고 이로 인해 철근의 매설깊이

가 깊은 곳까지 변형률이 발생하기 때문에 슬립량이 증가하기 때문이라고 생각된다. 전체적으로 보면 콘크리트 강도가 증가하면 슬립량의 비가 다소 커지지만 증가량은 크지 않고 철근의 강도가 커지면 슬립량의 비는 다소 증가한다. 그러나 콘크리트의 강도와 철근의 강도가 작은 모델에 비해 슬립량의 비가 많이 작아지기 때문에 고강도재료를 사용하는 경우 슬립량에 의한 변위연성도에의 기여도는 오히려 부정적으로 작용함을 알 수 있다.

한편, D13을 사용한 모델(C60S513)과 동일한 강도를 갖는 D25모델(C60S525)을 비교하면 D13모델의 슬립량의 비가 훨씬 크다. 이는 축소모델 실험에 있어서 주철근의 지름을 축소비대로 줄이지 못하여 큰 지름의 철근을 사용하는 경우 축소모델에서 주철근의 풀아웃에 의한 슬립량의 비가 실물모델에 비해 커지기 때문에 변위연성도를 과대 평가하게됨을 시사한다.

그림6은 하중에 따른 철근의 매설깊이별 변형률 분포의 개념도이다. 단부의 슬립이 없는 매설철근의 슬립량은 식(1)로 나타낼 수 있다. 즉 변형률분포의 면적이 슬립량이 된다. 식(1)을 이용하여 그림4의 각 하중단계(①~④)에서의 변형률분포특성을 나타내면 표와 같다. 재료의 강도가 작은 시험체의 경우 철근의 소성영역이 깊게 분포하여 슬립량이 커지는 것을 알 수 있다.

$$s = \int \epsilon dl \quad (1)$$

표 4 항복시와 특정하중시의 슬립량 비교

	C24S325	C40S425	C60S425	C60S525	C40S513	C50S513	비고
$f_y^{①}$	1.40	2.26	1.97	1.69	1.70	1.47	
$1.4 f_y^{②}$	12.30	7.45	6.48	9.68	-	-	
$1.3 f_y^{③}$	8.71	5.82	5.00	2.76	8.04	7.99	
②/①	8.79	3.29	3.29	5.72	-	-	
③/①	6.22	2.57	2.54	1.63	4.73	5.44	

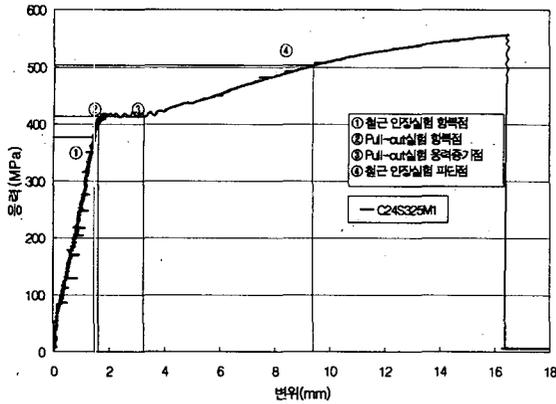


그림 4 C24S325M1 하중(응력)-슬립량

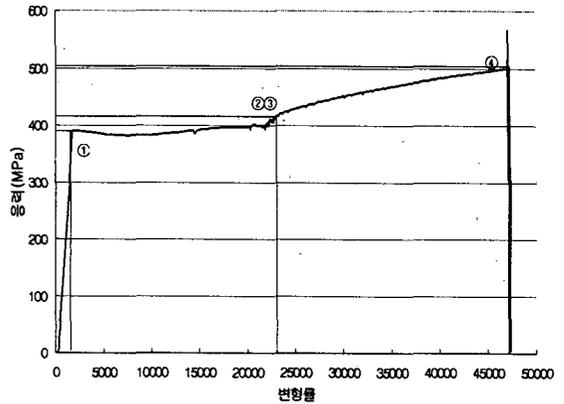


그림 5 SD30 하중(응력)-변형률

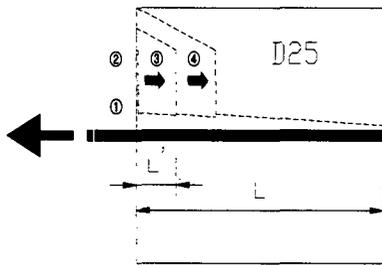


그림 6 변형률 투과

표 5 매설철근부의 변형률 분포특성

구분	L'				비고
	①	②	③	④	
C24S325	0	$6.67 \times 10^{-3} L$	0.08 L	0.16 L	L=30D
C40S425	0	$8.7 \times 10^{-3} L$	0.043 L	0.045L	
C60S425	0	$6.5 \times 10^{-3} L$	0.03 L	0.10 L	
C60S525	0	$7.06 \times 10^{-3} L$	0.05 L	0.09 L	

4. 결론

매시브한 콘크리트에 매설된 철근의 Pull-out영향에 대한 본 연구에서 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 초기에 선형관계를 보이다가 하중의 증가없이 갑작스럽게 슬립량이 증가하고 그 이후에는 하중의 작은 증가에도 슬립량이 크게 증가하면서 파단되는 양상을 나타내고 있다.
- 2) 콘크리트 강도가 증가하면 슬립량의 비가 다소 커지지만 증가량은 크지 않고 철근의 강도가 커지면 슬립량의 비는 다소 증가한다. 그러나 콘크리트의 강도와 철근의 강도가 작은 모델에 비해 슬립량의 비가 많이 작아지기 때문에 고강도재료를 사용하는 경우 슬립량에 의한 변위연성도에의 기여도는 오히려 부정적으로 작용함을 알 수 있다.
- 3) 축소모델 실험에 있어서 주철근의 지름을 축소비대로 줄이지 못하여 큰 지름의 철근을 사용하는 경우 축소모델에서 주철근의 풀아웃에 의한 슬립량의 비가 실물모델에 비해 커지기 때문에 변위연성도를 과대 평가하게됨을 시사한다.

참고문헌

- (1) 신성우, 최중수, 이광수, "철근콘크리트의 부착특성에 관한 연구" 콘크리트학회 논문집, 제 7권 1호, 1995. 02, pp. 117-125
- (2) Kohichi Maekawaa, "Nonlinear Analysis and Constitutive Models of Reinforced Concrete", 제 6장 bond-slip-strain model of deformed bar, pp.159-182