

흙막이 구조물(VI-1)

- 널말뚝벽공법 -

천 병 식*1
 남 순 성*2
 고 용 일*3

1. 개 요

널말뚝벽공법은 널말뚝을 서로 맞물려 연속하여 타입하여 영구적 또는 일시적 벽체를 만들어 횡방향의 외력에 저항시켜 토류벽 또는 지수벽의 역할을 할 수 있게 하는 토류공법으로서 시공성이 우수하기 때문에 굴착토류, 假護岸, 築島 등의 가설공사를 비롯하여 안벽, 호안, 방파제, 導流堤, 차수벽, Dock 등 사용분야는 매우 광범위하다. 이와 같은 널말뚝구조벽체는 매우 오래전 부터 사용되어 온 것으로, 특히 북유럽 연안국에서 대규모 해안벽이 나무, 콘크리트, 강 등을 재료로하여 많이 축조되었다. 또한 그 시공경험을 바탕으로 경험적 설계법들이 나왔는데, 그 중 덴마크식 널말뚝구조벽체설계법 등이 널리 쓰여 왔다. 현재와 같이 널말뚝벽체를 구조역학적으로 해석할 수 있게 된 것은 1910년 독일의 토질학자 Krey가 널말뚝구조벽체를 Coulomb 토압을 받는 구조물로 보아 해석한 이후 부터 시작되었다. 더욱 최근에는 강널말뚝의 탄성이론에 의한 설계법이 채용되어 합리적이고 경제적인 설계가 가능하게

되고있다고 할 수 있다.

널말뚝벽공법은 시공이 간단하고 일반적으로 반복사용이 가능하며 공비가 싸고 급속시공이 가능하다. 본 공법은 종류가 많고 구조형식도 여러종류이어서 적용범위가 넓고 또한 널말뚝의 단면이나 길이를 바꾸어 기초지반의 변화에 대응할 수 있는 특징이 있는 반면에 타입시 진동이나 소음이 발생하기 쉬운 단점이 있다.

널말뚝벽공법을 구조형식별로 분류하면 다음과 같다.

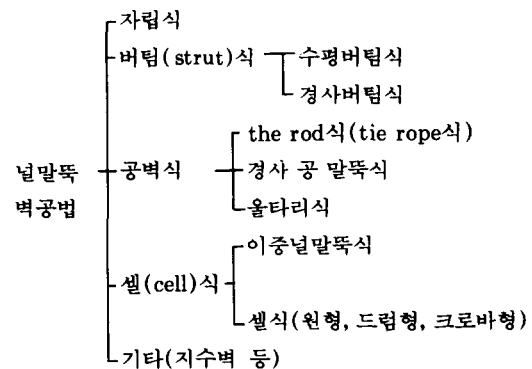


Fig.1.1 널말뚝공법의 구조형식별 분류

*1 정희원, 한양대학교 공과대학 토목공학과 교수

*2 정희원, 동성엔지니어링 이사

*3 정희원, 한양대학교 산업과학연구소 연구원

2. 널말뚝벽의 분류와 형식

널말뚝을 사용재료에 따라 분류하면 나무널말뚝, 강관널말뚝(steel pipe sheet pile), 콘크리트널말뚝, 강널말뚝 등이 있으나 일반적으로 강널말뚝이 종류도 많고 시공성도 좋아서 많이 쓰여지고 있다. 최근에는 강관널말뚝(steel pipe sheet pile)과 같은 단면계수가 큰 널말뚝이 제작되고 있어서 깊은 굴착이나 연약지반과 같은 고강도를 요하는 공사에서 잘 사용되고 있다.

2.1 나무 널말뚝

나무 널말뚝은 대개 소나무가 사용되고, 매립호안의 가설공사 및 낮은 토류벽에 상용되고 있다. 길이는 토질 및 용도에 따라 2~3m정도이고 두께는 3~6cm정도 폭은 30cm 이하가 보통이다. 타입방법은 지지대를 사용하고 가능한 낙하고를 높게하지 않고 서서히 단계적으로 타격하고 굴착과 함께 타입깊이를 증가시켜 가는 것이 보통이다. 또한 나무 널말뚝의 선단은 칼날 형태로 하고 필요에 따라 얇은 철판으로 방호하며 두부는 타격으로 파손되기 쉬우므로 담금질한 철선으로 동여매어 시공한다. 나무 널말뚝은 일반적으로 내구성이 떨어지고 단면이 큰 것은 입수하기가 쉽지 않기 때문에 현재는 경량 강널말뚝으로 전환되고 있다.

2.2 콘크리트 널말뚝

철근 콘크리트 널말뚝은 프리캐스트의 철근 콘크리트제 널말뚝이고 항만및 하천의 호안공사 및 철도, 도로의 축제비탈면 보호용으로 쓰이는 경우가 많지만 전용(轉用)할 수 없기 때문에 가설물로는 사용하지 않는다. 강널말뚝이 해수에 의해 부식되므로 그의 대응으로 사용하나 결점으로는 단면계수를 크게 하기 위해서는 두께가 두꺼워야 하고 그렇게 되면 중량이 크게 되며 운반 및 취급이 곤란하게 되고 타입시

균열이 발생하기 쉬워지는 점 등을 들 수 있다. 최근 프리캐스트 널말뚝을 이용할 수 있게 되었고 이는 같은 휨저항 모멘트를 발휘하는 데 철근콘크리트 널말뚝에 비해 중량을 반감시키고 또한 타입이 용이하며 더우기 균열의 우려가 없으며 내구성이 높은 점 등의 특징을 갖고 있다.

철근콘크리트 널말뚝은 두께가 6~30cm 길이는 2~8m이고 사용목적에 따라 여러류가 제작되며 이음부의 형태도 여러 종류가 연구되고 있다. 폭은 40cm로 통일되어 있다. 제조방법은 틀내에 $\phi 6\text{mm} \sim \phi 19\text{mm}$ 의 철근을 8~12개조로 넣고 콘크리트를 충전시킨 후 진동대 혹은 vibrator로 다져 성형한다. 타입시 두부와 선단부에 강한 충격을 받고 또한 구조물로서 큰 강성을 요구하기 때문에 콘크리트는 $\sigma_{28} = 350 \sim 450\text{kg/cm}^2$ 의 고강도가 필요하다.

타입방법은 보통의 드롭 함마 방식으로 단계별 타입하며 널말뚝의 맞물림에 유의 해야 하고 이음부로 부터 이입된 토사가 유출되는 일이 있기 때문에 나무판 등으로 누출방지가 필요하다. 다져진 세사층의 토질에는 워터젯트를 병용하여 마지막에 타격을 가하는 방법이 효과적이다.

2.3 강널말뚝

강널말뚝은 안벽, 호안 등의 영구 구조물 및 가물막이 토류벽 등의 가설공사에 광범위하게 쓰인다.

강널말뚝의 장점으로는 다음의 것을 들 수 있다. ①수밀성이 높으므로 지하수 저하를 막을 수 있다. ②지하수가 풍부한 사층에서의 모래의 유출을 막을 수 있다. ③강널말뚝은 공장에서 엄밀한 품질관리하에 생산되기 때문에 재질, 형상 등에서 균일하고 신뢰성이 높다. ④큰 단면의 강널말뚝만 생산할 수 있다면 대규모 공사에도 적용될 수 있다.

강널말뚝의 단점으로는

①엄지말뚝공법에 비해 공기가 길어진다. ②

압반과 같은 견고한 지반이나 연약 지반에는 부적당하다. ③강성이 작으므로 연약지반에서는 변형이 커져서 배면의 지반을 침하시키기 쉽다. ④연속해서 시공하지 않으면 안되므로 매설물의 위치에 따른 시공의 지연이 많아진다. ⑤매설물의 횡단을 위해 구간 절단된 경우 수압이나 토압에 대해 취약부분이 되기 쉽다. ⑥이음시공의 능률이나 시공정밀도가 나빠지므로 깊은 굴착은 곤란하다. ⑦재사용하지 않는 경우에는 연속보에 의한 시공보다 고가이다. ⑧타입, 인발시 진동, 소음이 문제될 수 있다.

강널말뚝은 타입이나 인발시 소음, 진동등의 문제가 있어 특히 시가지 굴착공사에는 사용되고 있지 않으며, 이런 문제를 해결하기 위해 압입에 의한 타입공법(싸일런트 마스터기)이 개발되어 있긴 하지만 아직 일반화 되지 않은 실정이고, 천공후 널말뚝을 세워 넣고 주위를 모래로 충전하는 방법도 생각할 수 있지만, 이것 또한 지지구조상 여러가지 문제의 발생여지가 있다.

긴 강널말뚝의 경우 일반적으로 운반상의 제약으로 25m이하로 제작하고, 현장에서 용접하여 이으면 되지만 용접부가 약점이 되므로 설계, 시공상의 검토가 필요하다. 강널말뚝의 이용 분야를 영구구조물용과 가설공사용으로 나누어 분류하면 다음과 같다.

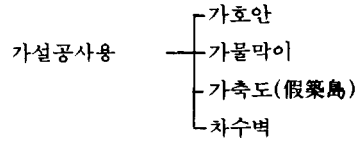
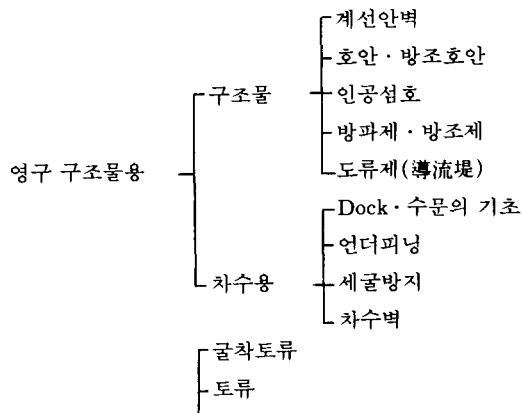


Fig.2.1 강널말뚝의 용도

강널말뚝은 제조방법에 따라 다음과 같이 분류한다.

①냉간 가공(冷間加工) 강널말뚝(경량강널말뚝)

②열간 압연(熱間壓延) 강널말뚝(간단히 강널말뚝으로 부른다)

③강관에 접합부를 용접한 널말뚝(강관널말뚝)

또한 형상에 따라 U형, 직선형, Z형, Box형(H형), 강관형의 5종류 외에 U형을 포함한 조합형이 있다. 그 예를 들면 Fig.2.2와 같다.

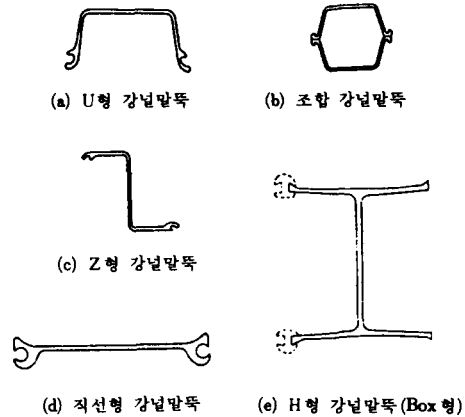


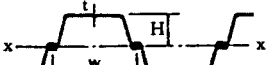
Fig.2.2 강널말뚝의 종류

강널말뚝의 화학성분 및 기계적성분은 Table 2.1과 같다.

Table 2.1 화학성분 및 기계적 성질

기 호	화 학 성 분			인 장 강 도 kgf/mm ² (N/mm ²)	항 복 점 kgf/mm ² (N/mm ²)	신 장 륜 No.1 or No.4 시료
	P	S	Cu			
	이 하	이 상	이 상			
SY 30	0.040	0.040	0.25	50(490)	30(294)	17
SY30 A	0.040	0.040	—	50(490)	30(294)	17
SY 40	0.040	0.040	0.25	55(539)	40(392)	15
SY40 A	0.040	0.040	—	55(539)	40(392)	15

Table 2.2 U형 널말뚝(예)



단 면 형 식	치 수			단면적	단 위 중 량			관 성 모 멘 트		단 면 계 수	
	W	H	t	파일당	파일당	벽두께당	파일당	벽두께당	파일당	벽두께당	
	mm	mm	mm	cm ²	kg/m	kg/m ²	cm ⁴	cm ⁴ /m	cm ²	cm ³ /m	
KWSP.Ⅱ	400	100	10.5	61.2	48.0	120	1,240	8,740	152	874	
KWSP.Ⅲ	400	125	13.0	76.4	60.0	150	2,220	16,800	223	1,340	
KWSP.ⅢA	400	150	13.0	76.4	60.0	150	3,060	22,600	278	1,510	
KWSP.Ⅳ	400	170	15.5	96.9	76.1	190	4,670	38,600	362	2,270	

다음에 이들 강널말뚝에 대해 설명해 보기로 하자.

(1) U형 강널말뚝

강널말뚝 중에 가장 많이 이용되고 있는 것으로서 연결부가 좌, 우 대칭의 구형(溝形)의 가장자리에 있고 그 위치는 벽측과 일치하므로 단독으로서도 휨, 비틀림에 대해 큰 강성을 가진다. 이 때문에 타입, 인발시 변형이 없어 가설용 토류벽에 많이 사용된다. U형 강널말뚝의 현행사용 예를 들면 Table 2.2와 같다.

(2) Z형 강널말뚝

Z형이 최근의 강널말뚝형이다. 연결부는 벽측과 가장 멀리 떨어져 있으므로 완성 후 단면에서 널말뚝 상호간의 전단력의 전달이 완전히 이루어져 강성이 크게 된다. 단독으로는 축회전 휨 및 비틀림에 약한 결점이 있다.

단면계수가 크게 요구되는 곳에서는 단위중량이 작아지므로 경제적이 되어 안벽, 호안 등에 많이 사용한다.

(3) Box형 (H형) 강널말뚝

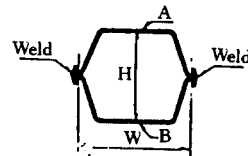
Box형의 강널말뚝을 연속해서 연결한 것으

로 Box형 강널말뚝이라고도 한다. Box형 강널말뚝은 단독으로 큰 강도를 가지며 또한 내부에 적당한 처리를 하여 차수성도 증가시킬 수 있지만 타입시 연결부의 마찰저항이 커지는 결점이 있다. 연약지반 및 깊은 수심의 영구구조물로 쓰이는 경우가 많고 가설용으로 쓰이는 경우는 그리 많지 않다.

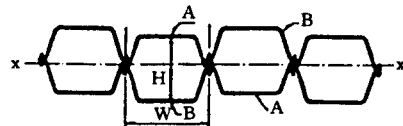
Box형 강널말뚝의 단면 치수 예를 들면 Table 2.3과 같다.

Table 2.3 H형 널말뚝(예)

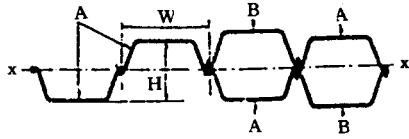
(a) 부재단면 (Member section)



(b) 전박스형 (All-Box Type)



(c) 교번 이중 박스형 (alternate double-box type)



(a) 부재 단면

단 면	형 식	치	수	단면적	관성 모멘트	단면계수
A	B	W(mm)	H(mm)	(cm ²)	(cm ⁴)	(cm ³)
KWSP.Ⅱ	KWSP.Ⅱ	400	241	122.4	10,500	872
KWSP.Ⅲ	KWSP.Ⅲ	400	297	152.8	19,600	1,320
KWSP.Ⅲ _A	KWSP.Ⅲ _A	400	344	152.8	24,800	1,440
KWSP.Ⅳ	KWSP.Ⅳ	400	387	194.0	41,600	2,150

(b) 전박스형

단 면	형 식	치	수	단면적	관성 모멘트	단면계수
A	B	W(mm)	H(mm)	(cm ² /m)	(cm ⁴ /m)	(cm ³ /m)
KWSP.Ⅱ	KWSP.Ⅱ	400	241	306.0	26,300	2,180
KWSP.Ⅲ	KWSP.Ⅲ	400	297	382.0	49,000	3,300
KWSP.Ⅲ _A	KWSP.Ⅲ _A	400	344	382.0	63,800	3,700
KWSP.Ⅳ	KWSP.Ⅳ	400	387	485.0	104,000	5,380

(c) 교번 이중박스형

단 면	형 식	치	수	단면적	관성 모멘트	단면계수	
A	B	C	W(mm)	H(mm)	(cm ²)	(cm ⁴)	(cm ³)
KWSP.Ⅱ	KWSP.Ⅱ	KSWP.Ⅱ	400	200	299.5	17,500	1,530
KWSP.Ⅲ	KWSP.Ⅲ	KWSP.Ⅲ	400	250	286.5	32,900	2,310
KWSP.Ⅲ _A	KWSP.Ⅲ _A	KWSP.Ⅲ _A	400	300	286.5	43,200	2,400
KWSP.Ⅳ	KWSP.Ⅳ	KWSP.Ⅳ	400	340	363.7	71,300	3,830

설 공사에 많이 쓰이고 있다.

경량강널말뚝은 종류도 많아 단위중량은 10kg/m부터 30kg/m 정도로 경량이고 단면 성능도 작으므로 간편히 사용할 수 있지만 지중에 타입되는 깊이는 5m 정도까지이고 굳은 사질지반 및 단단한 지층에는 타입이 곤란하다. 타입에는 간단한 목재 대(臺)가 사용되기도 하나 소형 크레인의 사용이 능률적이고 또한 인발시에도 용이하다.

(4) 경량강널말뚝

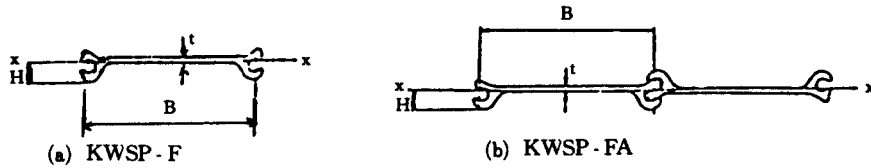
경량강널말뚝은 보통의 강널말뚝보다 수밀성, 강도를 필요로 하지 않는 소규모 공사의 얇은 깊이의 토류벽 및 차수벽에 나무 널말뚝 대신에 광범위하게 쓰인다. 보통 20회 이상 전용할 수 있고 특히 상하수도 및 관로의 매

(5) 직선형(F형) 강널말뚝

직선형강널말뚝은 인장에 강하고, 연결부의 연결강도도 크다. cell식 널말뚝 벽에 사용한다. 1매의 강성은 작으므로 견고한 지반에 타입은 잘 되지 않는다.

직선형강널말뚝의 단면치수 예를 들면 Table 2.4와 같다.

표 2.4 직선형 강널말뚝(예)



호칭	치수			널말뚝 1매당					벽 1m 당		
	폭	높이	두께	단면적	단위 중량	모멘트	단면 계수	단면2 차반경	단위 중량	모멘트	단면 계수
	B(mm)	h(mm)	t(mm)	A(cm ²)	W(kg/m)	I _x (cm ⁴)	Z _x (cm ³)	i _x (cm)	W(kg/m)	I _x (cm ⁴)	Z _x (cm ³)
KWSP-F	400	44.5	9.5	68.07	54.2	190	47.8	1.66	136	534	120
KWSP-FA	400	44.5	12.7	77.50	60.8	196	48.3	1.59	153	520	117

(6) 조합널말뚝

강널말뚝 또는 강널말뚝과 형강을 조합하여 용접해서 강성을 증가시킨 강널말뚝이다. 가장 많이 사용되는 조합으로는 U형 강널말뚝 2매를 통(筒)형으로 조합한 것이다. 조합널말뚝은 수심이 깊은 곳에서의 대형안벽공사등 시판되는 강널말뚝으로는 설계시공상 단면 강성이 부족한 경우에 쓰인다. 대개 필요한 부분에 조합하여 보강하는 예가 많다.

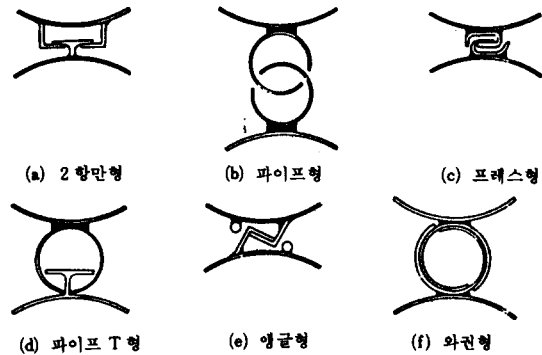


Fig2.3 강관널말뚝 이음의 형상

(7) 강관널말뚝

강관 말뚝에 형강 등을 이어 연결하면 다른 강널말뚝에 비해 단면계수가 상당히 큰 것을 얻을 수 있어 대규모 영구구조물 혹은 가설, 본체의 겸용 구조물로 이용되는 경우 등에 사용하는 예가 많다. 인발이 곤란하여 가설용으로는 부적합하다.

일반적으로 사용되고 있는 것은 본체 강관이 $\phi 500\text{mm} \sim \phi 1300\text{mm}$, 판 두께 9~25mm의 범위이다. 연결 형상에는 여러 종류가 있으나 대표적인 것을 그림에 표시한다. 연결내부에 몰탈 그라우트 등 적당한 처리를 하여 큰 수밀성을 얻는다. 대규모 가물막이로 쓰이거나 토류벽으로 쓰이는 경우도 많다.

3. 外力(土壓 · 水壓 · 波壓)

3.1 土 壓

토압의 계산에는 Table 3.1과 같은 여러가지 방법이 있다. 이 중에서 버팀식 토류벽에서는, 벽체의 변위가 비교적 작고 벽체에 접하는 흙이 충분한 전단저항을 발휘하기 때문에 Terzaghi-Peck 등의 정지토압이 사용되고 있다. 또 호안벽, 제방등의 자립식, 앵커식 토류벽에서는 벽체변위를 고려하고, 썩기 형태의

Table 3.1 토압계산식 일람표

종	모래지반		점토지반		비고
(일반공학회의) 진속기초구조물계구 (해로·포류벽)	(a) 단단한 모래지반	(b) 중간경도의 모래지반 (c) 느슨한 모래지반	(a) 단단한 점토지반	(b) 중간경도의 점토지반 (c) 연약한 점토지반	비밀식 포류벽의 강널말쪽 단면을 계산하는 경우에 사용한다.
	H $0.2H$ $0.6H$ $0.2H$	$0.2H$ $0.6H$ $0.2H$	$0.2H$ $0.8H$ $0.257H$	$0.6H$ $0.4H$ $0.37H$	
N 층의 단위체중량 (γ_{sat})	30 이상 1.7-2.0	15-30 1.5-1.8	20 이상 1.6-1.9	10-20 1.5-1.8	10미만 1.4-1.7
Terzaghi · Peck	(a) 단단한 모래지반	(b) 느슨한 모래지반	(a) 단단한 점토지반	(b) 중간경도의 점토지반 (c) 연약한 점토지반	상 회
	$0.8P_0 \cos \delta$ $0.2H$ $0.6H$ $0.2H$	$0.2H$ $0.8H$ $0.8H$ $0.8P_0 \cos \delta$	$0.2H$ $0.3H$ $0.55H$ $0.15H$	$0.3H$ $0.75H$ $0.25H$	
Tschebotarioff	(a) 단단한 모래지반	(b) 상부까지의 단단한 모래지반	(a) 단단한 점토지반	(b) 중간경도 단단한 점토 지반의 영구적 지보층 영구적 지보층 모두다 원형 그림의 $d=0$ (상각 행분포)으로 한다.	상 회
	H $0.2H$ $0.6H$ $0.2H$	$0.2H$ $0.7H$ $0.2H$	$0.2H$ $0.6H$ $0.2H$	$0.75H$ $0.57H$	
Rankine Poullienus	상각하중 q (t/m^2) $H = q/\gamma$	무중포압 $P_0 = (\gamma \cdot H + q) \tan^2 (45^\circ - \frac{\phi}{2}) - 2c \tan (45^\circ - \frac{\phi}{2})$ 수중포압 $P_0 = (\gamma \cdot H + q) \tan^2 (45^\circ + \frac{\phi}{2}) + 2c \tan (45^\circ + \frac{\phi}{2})$ 모래지반에서 $c=0$ 의 경우 $P_0 = (\gamma H + q) \tan^2 (45^\circ - \frac{\phi}{2})$ $P_0 = (\gamma H + q) \tan^2 (45^\circ + \frac{\phi}{2})$	(가 호) γ : 흙의 단위중량 (t/m^3) ϕ : 내부마찰각 (도) c : 점착력 (t/m^2) H : 지반면에서부터의 깊이 (m) q : 상각하중강도 (등분포하중) (t/m^2)	(가 호) β : 지반경사각 δ : 벽면마찰각 ϕ : 벽면경사각 ξ : 흙의 각 K_A, K_P : 토압계수 $\beta_A(-)$, $\beta_P(+)$	비밀식 포류벽의 강널말쪽 단면을 계산하는 경우에 사용한다.
	H $0.2H$ $0.6H$ $0.2H$	$0.2H$ $0.7H$ $0.2H$	$0.2H$ $0.6H$ $0.2H$	$0.75H$ $0.57H$	
(일반공학회의) 방만구조물계구 (제2권 10장)	무중포압 $P_0 = K_A [\sum \gamma h + q \cos \phi] \cos \phi$ 수중포압 $P_0 = K_P [\sum \gamma h + q \cos \phi] \cos \phi$ $\cos(\xi_A - \beta)$, $\cos(\xi_P - \beta) = \frac{\cos(\phi \pm \delta \pm \psi \mp \beta)}{\cos(\phi \pm \delta)}$ $\sin(\xi_A \pm \beta)$, $\sin(\xi_P \pm \beta) = \frac{\sin(\phi \pm \delta \pm \psi \mp \beta) \sin(\phi \pm \delta)}{\cos(\phi \pm \delta)}$ $\cos(\xi_A - \beta)$, $\cos(\xi_P - \beta) = \frac{\cos(\phi \pm \delta) \cos(\phi \pm \psi \mp \beta)}{\cos(\phi \pm \delta)}$ $\sin(\xi_A \pm \beta)$, $\sin(\xi_P \pm \beta) = \frac{\sin(\phi \pm \delta) \sin(\phi \pm \psi \mp \beta)}{\cos(\phi \pm \delta)}$		무중포압 $P_0 = \sum \gamma h + q - 2c$: 또는, $P_0 = K_c (\sum \gamma h + q)$ K_c : 압밀정형계수 0.5 수중포압 $P_0 = \sum \gamma h + q + 2c$	(가 호) β : 지반경사각 δ : 벽면마찰각 ϕ : 벽면경사각 ξ : 흙의 각 K_A, K_P : 토압계수 $\beta_A(-)$, $\beta_P(+)$	자립식, 옹벽식 포류벽 의 강널말쪽 단면과 근입암을 계산하는 경우에 사용한다.
[주] Coulomb 토압계구 에지반과 점토지반으로 나누어서 나와내고 있다	올다른 기호는 Rankine 토압과 같음				

파괴면을 가정한 Coulomb 토압이 사용되고 있다.

3.2. 水 壓

널말뚝벽 뒷면과 앞면 사이에 수위차가 발생하는 경우에는 설계에 있어서 Fig.3.1과 같은 잔류수압이 토류벽에 작용하는 것으로 본다.

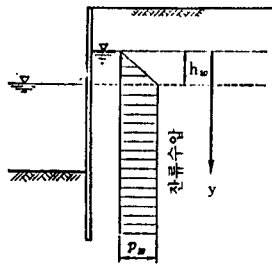


Fig.3.1 殘留水壓

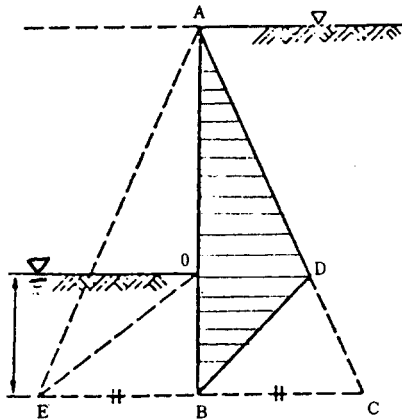


Fig.3.2 水壓

그러나, 널말뚝벽 앞면의 굴착저면 이하로 수위가 떨어지고 있는 경우는 Fig.3.2와 같은 수압을 설계수압으로 보는 경우가 많다. 즉, 널말뚝에 작용하는 수압은 굴착전에는 널말뚝의 하단 B에 있어서 널말뚝 배면의 수압 BC와 굴착측(널말뚝 전면)의 수압 BE는 같고, 굴착

완료후에도 널말뚝이 어느 정도만 근입된다면 수압 BC와 BE는 같다고 본다. 그러나, 굴착저면 0에 있어서 굴착측의 수압은 Zero이기 때문에, 굴착측의 수압분포는 호OE가 되는 데 이호의 형상을 알 수 없기 때문에 편의상 직선 OE로 가정하고, 널말뚝벽 뒷면의 수압 ΔABC 로 부터 굴착측의 수압 ΔOBE 즉 ΔBCD 를 뺀 ΔABD 가 설계수압으로 보는 경우가 많다.

3.3 波 壓

파압은 쇄파의 경우에는 廣井의 식으로, 부분쇄파의 경우에는 黒田의 식으로, 중복파의 경우에는 Sainflou의 식으로 계산한다. (Fig.3.3)

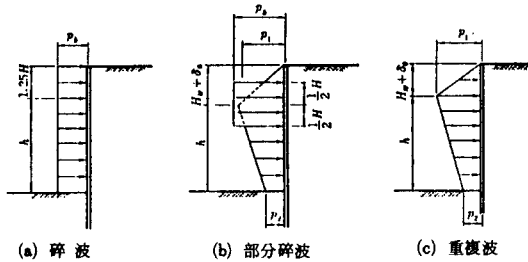


Fig.3.3 波壓

Fig.3.3에서의 파압강도는 다음과 같이 구한다.

(i) 쇄파($h < 2H$)의 경우 : 廣井의 식

$$p_0 = 1.5\omega_0 H \quad (3.1)$$

(ii) 중복파 ($h \geq 2H$)의 경우 : Sainflou의 식

파봉이 벽체의 면에 있을 때

$$\left. \begin{aligned} p_1 &= (p_2 + \omega_0 h) \left(\frac{H + \delta_0}{h + H + \delta_0} \right) \\ p_2 &= \frac{\omega_0 H}{\cosh \frac{2\pi h}{L}} \\ \delta_0 &= \frac{\pi H^2}{L} \coth \frac{2\pi h}{L} \end{aligned} \right\} (3.2)$$

식(3.2)를 계산할 경우 Sainflou의 파압도표

(Fig.3.4~Fig.3.7)을 사용하면 편리하다.

(iii) 부분쇄파($h \geq 2H$ 이면서 파형구배

($\frac{\text{파고}}{\text{파장}}$)가 큰 경우)의 경우 : 黒田의 식

식(3.1), 식(3.2) 두 식에 의해 계산한다.

여기서, p_b, p_1, p_2 : 벽체에 작용하는 파압
강도(t/m^2)

ω : 해수의 단위체적중량(예. $1.025 t/m^3$)

δ_0 : 벽면에 있어서 정수면으로 부터 정수
면 위의 파고중분면(波高中分面)까지
의 높이(m)

h : 벽체 전면의 수심(m)

H : 진행파의 파고(m)

L : 수심(h)에서의 파장(m)

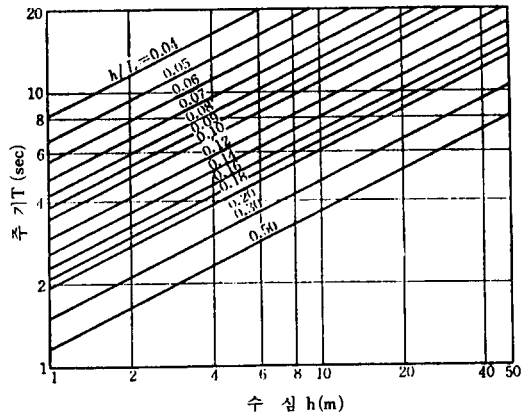


Fig.3.4 Sainflou 파압계산도표

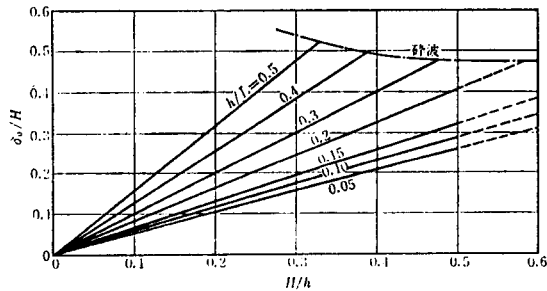


Fig.3.5 Sainflou 파압계산도표

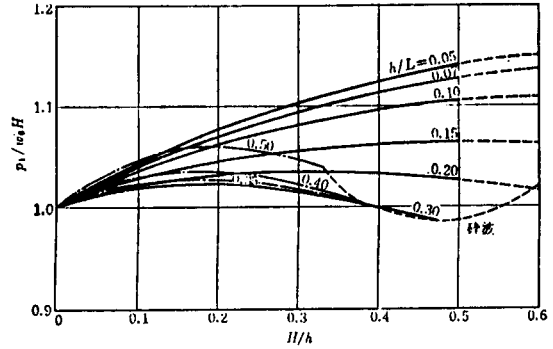


Fig.3.6 Sainflou 파압계산도표

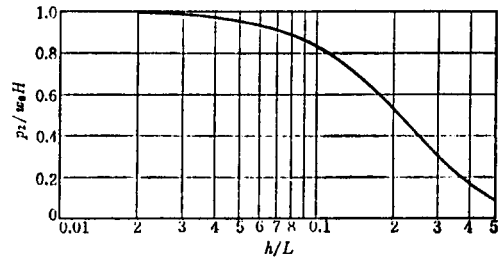


Fig.3.7 Sainflou 파압계산도표

4. 강널말뚝의 타설과 시공방법

4.1 강널말뚝의 타설

강널말뚝의 타설은 공사의 대부분을 차지하므로 능률적으로 정확하게 타설한다면 강널말뚝 공사는 완벽하게 될 것이다. 타설방법은 통상, 말뚝타설원리와 같으며 이를 분류하면 충격식 타설법, 워터 제트 겸용 타설법 등이 가장 널리 쓰이고 그 외에도 여러가지 타설 방법이 있다.

4.1.1 충격식 타설법

1) 함마의 무게로 자연 낙하시켜 그의 충격력에 의해 타입하는 간단한 방법이며 소규모 공사에서 주로 쓰이는 방법이다.

2) 동력식 타설법

함마를 자유낙하시키고 원치로 함마를 올리는데 많은 시간을 요하게 되므로 대규모 공사에서는 증기를 이용하여 상승 낙하하는 방법이 사용된다. 함마의 상승시에만 증기를 사용하면 single acting hammer 라고 하고 낙하시 증기압을 이용하면 double acting hammer 라고 한다. 증기압 대신 공기압을 사용할 때도 있다.

우리 나라에서 많이 사용하는 디젤 함마는 함마의 상승하는 힘을 내연기관의 폭발력을 이용하는 방법이다. 디젤 함마의 특징은 증기 함마에 비해 운반이 쉽고 간단한 점이다.

4.1.2 진동식 타설방법

전기 기진기를 응용한 바이브로 함마를 강널말뚝 타입에 응용한다. 바이브로 함마는 대용량의 전원을 필요로 하는 데 근자 대형 휴대용 발전기가 보급되어서 이 문제는 해결되었다. 그러나 사질토나 모래지반 같은 지반에서 바이브로 함마를 사용하면 시질지반이 더욱 밀해져 관입이 더욱 어려워지는 사례가 있다는 점에 유의할 필요가 있다. 바이브로 함마의 또 하나의 특징으로 강널말뚝의 인발용으로도 사용할 수 있는 잇점이다.

4.1.3. 암반에의 함타공법

강널말뚝을 경제적이고 안전하게 시공하려면 견고한 지반에 관입되어야 한다. 그러나, 모래, 자갈층에 전석 또는 암피가 개재해 있을 때 암피에 강널말뚝을 관입시키기란 실질적으로 불가능하지만, 부득이한 경우에는 보링을 하여 강널말뚝을 타입하는 방법이나 그라우팅 방법에 의존하고 있으나 작업이 번잡하고 공사비도 고가로 된다. 한편 진동향타기로 워터제트를 병용하여 암반중으로 직접 관입타설하는 공법 즉, rock pile driving method가 있는데 이 공법의 주요 원리는 말뚝하단의 물과 석분을 워터 잷트로 제거하여 널말뚝의 하단을 항상 새로운 암반과 접하게 하여 강널말뚝의 상단에서 가해진 진동충격에너지를 물, 석분을 통하지 아니하고 직접 암반으로 전달해 주는 것이다.

4.2 시공방법

4.2.1 시공순서

- ①타설 법선의 설정 ②유도벽의 설치
- ③강널말뚝을 연직으로 세움
- ④타 설 ⑤타설 기록

4.2.2 시공시 유의사항

(1)경사대책

(가) 원인

함마의 타격위치와 이미 타설한 강널말뚝 사이의 연결부 마찰력의 작용위치가 다르게 되면, 이 때문에 우력이 발생하여 강널말뚝의 진행방향으로 경사지게 한다. 강널말뚝이 지표면에서는 똑바로 타입되었더라도, 그 하단에서는 지반이 견고하면 다소 구부러질 수 있기 때문에 수평거리는 강널말뚝 하단이 짧게 된다든지 강널말뚝이 진행방향으로 경사지기도 한다. 강널말뚝에 작용하는 토압은 하단으로 내려갈수록 증대하기 때문에, 강널말뚝하단이 약간 늘려져서 진행방향으로 경사지기도 한다.

(나) 경사가 경미한 경우의 수정방법

강널말뚝 두부를 와이어를 이용하여 반대방향으로 잡아당긴다. 강널말뚝의 선단을 경사진면이 되도록 자른다. 이 경우에는 이미 타설한 강널말뚝에는 와이어를 걸어 잡아 당긴다. 함마의 타격방향을 조금 경사지게 한다.

이상의 방법에 의해서도 경사가 수정되지 않고, 상하로 강널말뚝 1매의 폭 이상의 차이가 발생하는 경우에는 췌기 널말뚝을 사용해야 한다.

(2) 강널말뚝 침하대책

연약한 지반에서는 강널말뚝을 타설할 때 선단지력이 작아지기 때문에, 연결부 마찰력에 의해 인접 강널말뚝까지 침하시키는 일이 있다.

침하를 방지하기 위해서는, 강널말뚝의 경사를 바로 잡고 강널말뚝 연결부에 구리스등을 발라 연결부의 마찰력을 감소시킨다. 또, 강널

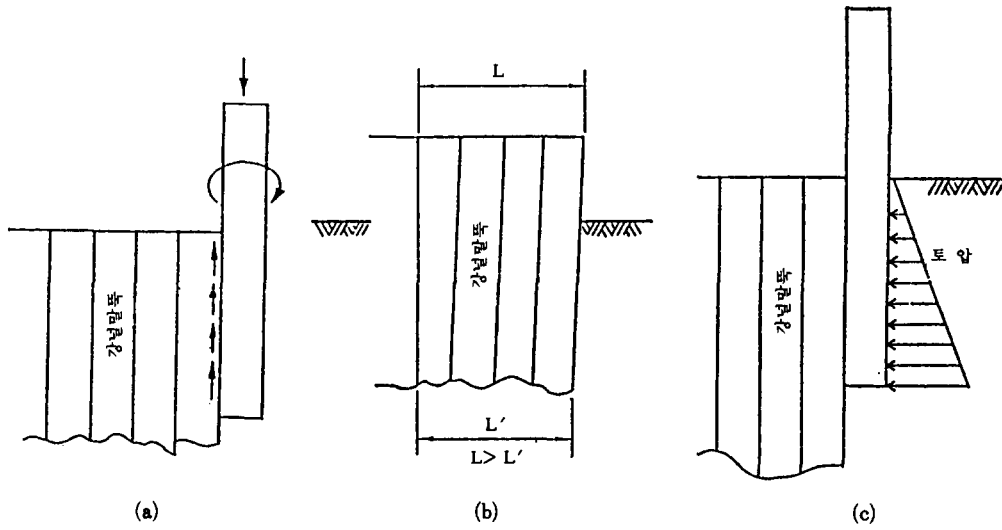


Fig. 4.1 경사의 원인

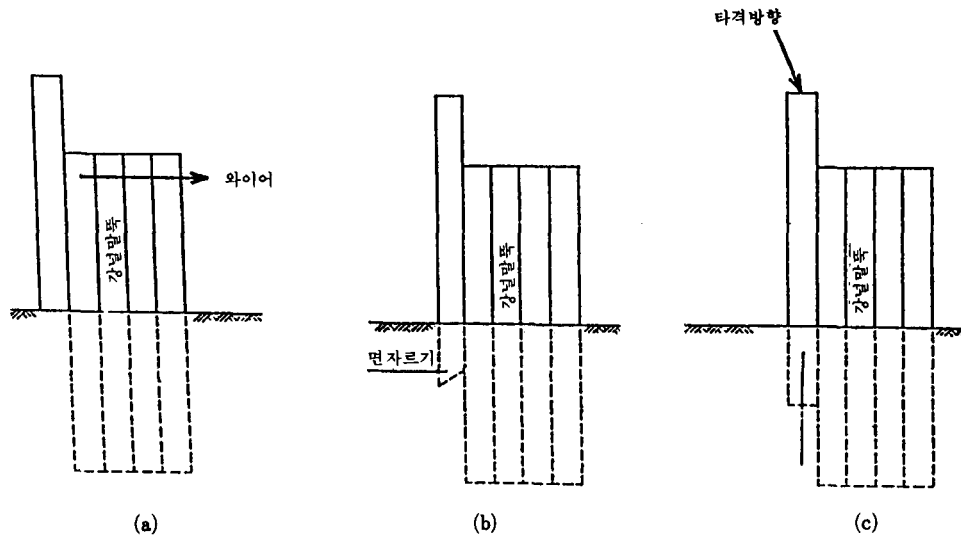


Fig.4.2 경사수정 방법

말뚝을 높이는 방법이라든지, 이미 타설한 여러 개의 강널말뚝 연결부를 용접하거나 적당한 강재로서 단단하게 연결시키는 방법등이 있다.

(3) 근입깊이 부족 대책

근입깊이 부족이 발생하는 원인으로서는 당

초 예상보다 지반이 단단하거나 합마의 용량부족 등을 생각할 수 있는데, 그 경우 우선 합마 종류와 용량을 재검토하여 시공조건에 적합한 합마를 사용하는 것 외에도 모래지반에서 타설이 곤란한 경우에는 워터 젯트를 병용하는 등

의 대책을 강구한다.

그래도 소요근입 깊이까지 근입되지 않는 경우에는 설계자와 의논하여 설계를 재검토할 필요가 있다.

(4) 연결부 이탈 대책

강널말뚝의 타설중 또는 타설후에 연결부 이탈이 확인될 때는, 즉시 인발하여 다시 타설하든가 또는 다른 적절한 조치를 취해야 한다. 일반적으로, 배면의 토사가 유출되는 것을 막기 위하여 강널말뚝벽체 후면에 강널말뚝을 걸쳐서 타설한다든지, 이탈한 곳의 형상에 따라 적당한 강재를 사용해 용접해서 폐합시킨다든지 하는 데, 연결부가 이탈한 경우의 처리는 상당히 곤란한 경우가 많기 때문에 타설중에 이상이 발생하면, 즉시 타설을 중지하고 상황을 검토할 필요가 있다.

5. 굴착저면의 안정 검토

널말뚝의 히빙 및 파이핑에 대한 안전검토는 전호(Vol. 8, No. 4)의 흙막이 구조물(V) 제4장(굴착바닥면의 안정)을 참조 바람.

6. 캔틸레버식 널말뚝과 버팀식 널말뚝 벽체의 설계 방법

6.1 캔틸레버식 널말뚝

6.1.1 모래지반에 타입되는 경우

Fig.6.1에서 깊이 $z=L_1$ 인 곳에서의 주동토압은 다음과 같다.

$$p_1 = \gamma L_1 K_A \quad (6.1)$$

또, 깊이 $z=L_1+L_2$ 인 곳(굴착바닥면)에서의 주동토압은

$$p_2 = (\gamma L_1 + \gamma' L_2) K_A \quad (6.2)$$

여기서, γ' : 흙의 유효 단위 중량 = $\gamma_{sat} - \gamma_w$
지표면으로부터 깊이 z 에서의 순횡토압 분포는 다음과 같이 된다.

$$p = (\gamma L_1 + \gamma' L_2) K_A - \gamma'(z - L_1 - L_2)(K_p - K_A)$$

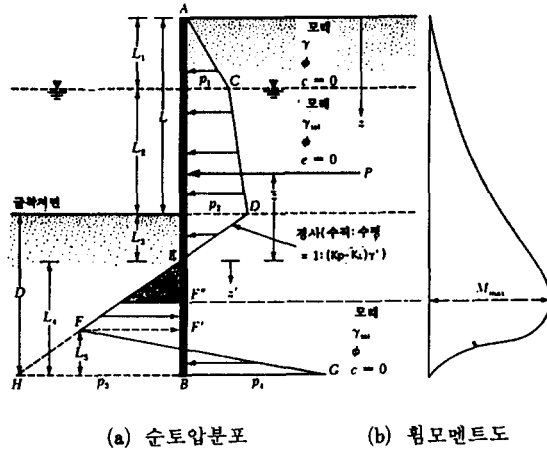


Fig.6.1 모래지반에 타입된 캔틸레버식 널말뚝 벽

$$= p_2 - \gamma'(z-L)(K_p - K_A) \quad (6.3)$$

여기서, $L=L_1+L_2$

순횡토압 p 가 0이 되는 깊이 L_3 는 다음과 같다.

$$(z-L) = L_3 = \frac{D_2}{\gamma'(K_p - K_A)} \quad (6.4)$$

그리고 토압 p_3 는 다음과 같음을 알 수 있다.

$$\overline{HB} = p_3 = L_4(K_p - K_A)\gamma' \quad (6.5)$$

따라서, 널말뚝 바닥에서 순 횡토압은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} p_4 &= (\gamma L_1 + \gamma' L_2) K_p + \gamma' D (K_p - K_A) \\ &= (\gamma L_1 + \gamma' L_2) K_p + \gamma' L_3 (K_p - K_A) \\ &\quad + \gamma' L_4 (K_p - K_A) \\ &= p_5 + \gamma' L_4 (K_p - K_A) \end{aligned} \quad (6.6)$$

$$\text{여기서, } p_5 = (\gamma L_1 + \gamma' L_2) K_p + \gamma' L_3 (K_p - K_A) \quad (6.7)$$

$$D = L_3 + L_4 \quad (6.8)$$

L_5 와 z 는 각각 다음 두식으로 부터 구할 수 있다.

$$L = \frac{p_3 L_4 - 2p}{p_5 + p_4} \quad (6.9)$$

$$\begin{aligned} P(L_4 + z) - \left(\frac{1}{2} L_4 p_3\right) \left(\frac{L_4}{3}\right) + \frac{1}{2} L_5 (p_3 + p_4) \\ \left(\frac{L_5}{3}\right) = 0 \end{aligned} \quad (6.10)$$

여기서, P는 토압분포도 ACDE의 면적 또한 L_4 는 다음의 4차 방정식으로 부터 구할 수 있다.

$$L_4^4 + A_1 L_4^3 - A_2 L_4^2 - A_3 L_4 + A_4 = 0 \quad (6.11)$$

$$\text{여기서, } A_1 = \frac{P_5}{\gamma'(K_p - K_A)} \quad (6.12)$$

$$A_2 = \frac{8p}{\gamma'(K_p - K_A)} \quad (6.13)$$

$$A_3 = \frac{6p[2z\gamma'(K_p - K_A) + p_5]}{\gamma'^2(K_p - K_A)^2} \quad (6.14)$$

$$A_4 = \frac{p(6z\bar{p}_5 + 4p)}{\gamma'^2(K_p - K_A)^2} \quad (6.15)$$

실제 근입 깊이는 이론적 근입 깊이 $D = L_3 + L_4$ 보다 20~30% 정도 증가시킨다.

Fig.6.1.(b)는 널 말뚝의 휨모멘트도이다. 최대 휨모멘트는 점 E와 점 F' 사이에서 일어나는데, 전단력이 0이 되는 곳 부터 구해보자.

$$z' = \sqrt{\frac{2p}{(K_p - K_A)\gamma'}} \quad (6.16)$$

일단 전단력이 0인 곳 z' 가 결정되면 (Fig.6.1.(a)에서 점 F'), 최대 휨모멘트의 크기는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$M_{\max} = p(\bar{z} + z') - 0.5\gamma'z'^2(K_p - K_A) \quad (6.17)$$

6.1.2 점토지반에 타입된 경우

토압 p_1 과 p_2 는 각각 식(6.1)과 식(6.2)와 같다.

순 횡토압 분포 p_6

$$p_6 = 4C - (\gamma L_1 + \gamma' L_2) \quad (6.18)$$

그리고 널말뚝 끝에서의 순횡토압은 다음과 같이 된다.

$$p_7 = 4C + (\gamma L_1 + \gamma' L_2) \quad (6.19)$$

L_4 는 다음 식으로부터 구할 수 있다.

$$L_4 = \frac{D[4C - (\gamma L_1 + \gamma' L_2)] - P_1}{4C} \quad (6.20)$$

여기서, P_1 는 토압분포도 ACDE의 면적 다음 식으로 \bar{z}_1 도 구할 수 있다.

$$P_1(D + \bar{z}_1) - [4C - (\gamma L_1 + \gamma' L_2)]D^2/2 + \frac{1}{2}L_4(8C)(L_4/3) = 0 \quad (6.21)$$

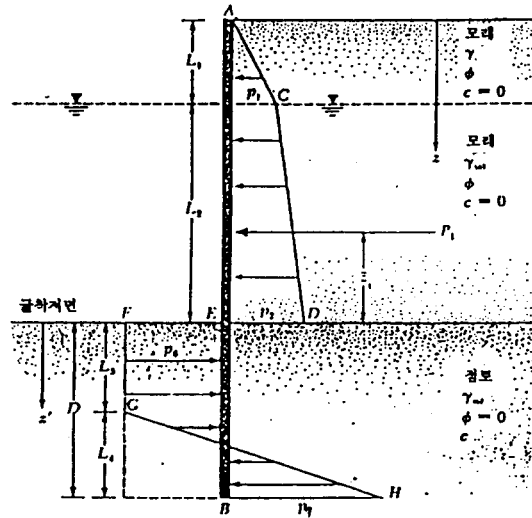


Fig.6.2 점토지반에 타입된 캔틸레버식 널말뚝 벽체

이론적 깊이 D 는 결국 다음 식으로 부터 구할 수 있다.

$$D^2[4C - (\gamma L_1 + \gamma' L_2)] - 2DP_1 - \frac{P_1(P_1 + 12Cz_1)}{(\gamma L_1 + \gamma' L_2) + 2C} = 0 \quad (6.22)$$

실제 근입깊이는 D 보다 40~60% 크게 본다.

최대휨모멘트(전단력이 0인 곳)는 $L_1 + L_2 < z < L_1 + L_2 + L_3$ 사이에서 발생한다. 즉, $P_1 - p_6 z' = 0$

$$z' = \frac{P_1}{p_6} \quad (6.23)$$

최대휨모멘트의 크기는 다음 식에 의해 구할 수 있다.

$$M_{\max} = P_1(z' + \bar{z}_1) = \frac{P_1 z'^2}{2} \quad (6.24)$$

6.2 버팀대식 널말뚝 벽체

버팀대가 여러단이 되면 널말뚝 벽체의 응력은 터파기의 각 단계에 있어서 널말뚝 벽체의

내측으로의 이동, 변형과 관련되어 산정할 필요가 있다. 이 경우 반력 및 최대 휨모멘트의 산정은 전호 (Vol.8, No.4)의 흙막이 구조물 (V) "3.2. 가"절 ②항 "약산법 2"를 참조바람.

이 때의 근입깊이는 다음 식에 따라 주동토압과 수동토압을 계산하고, 최하단 버팀대 위치를 중심으로 하여 모멘트 균형으로 부터 구한다.

$$p_A = (\gamma z + q) \tan^2(45^\circ - \frac{\phi}{2}) - 2C \tan(45^\circ - \frac{\phi}{2}) \quad (6.25)$$

$$p_B = (\gamma z + q) \tan^2(45^\circ + \frac{\phi}{2}) + 2C \tan(45^\circ + \frac{\phi}{2}) \quad (6.26)$$

$$F_s = \frac{M_p}{M_A} > 1.2$$

여기서, P_A : z 깊이에서의 주동토압(t/m²)

P_B : z 깊이에서의 수동토압(t/m²)

γ : 흙의 단위 중량 (t/m³)

z : 지표면에서의 깊이(m)

q : 상재하중(t/m²)

ϕ : 흙의 내부 마찰각(°)

C : 흙의 점착력(t/m²)

F_s : 안전율

$M_A = P_A \cdot h_A$

$M_p = P_p \cdot h_p$

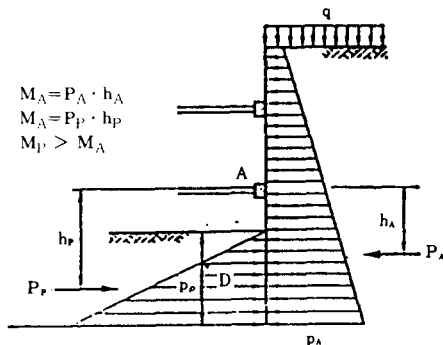


Fig.6.3 버팀대식 널말뚝 벽체의 근입깊이

6.3 가상지지점

가상 지지점의 위치를 정하는 방법을 두가지

소개하면 다음과 같다.

(1) 터파기 바닥 이하의 수동측 토압 중심점 Fig.6.4에 도시된 바와 같이 최하단 버팀대 지점을 중심으로 $M_r = M_d$ 가 되는 저항 토압의 중심점을 구하여 이것을 가상지지점으로 생각한다.

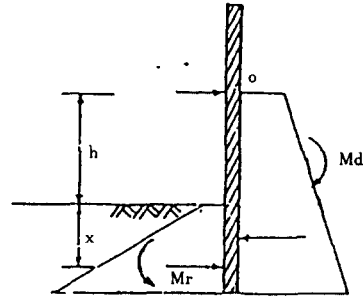


Fig.6.4 가상지지점 위치

(2) 모래 지반에 대한 내부마찰각 ϕ 에서의 추정치

Fig.6.5와 같은 토류구조물에서 모래지반의 경우는 Lohmeyer는 ϕ 값에 따라 가상지지점 위치를 Table 6.1과 같이 추정하였다.

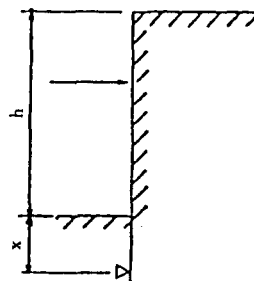


Fig.6.5 가상지지점의 위치

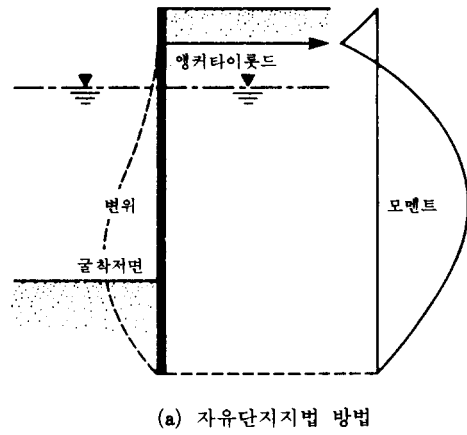
x	ϕ
0.25h	20°
0.16h	25°
0.08h	30°
0.035h	35°

Tabal 6.1 Lohmeyer의 토중지지점

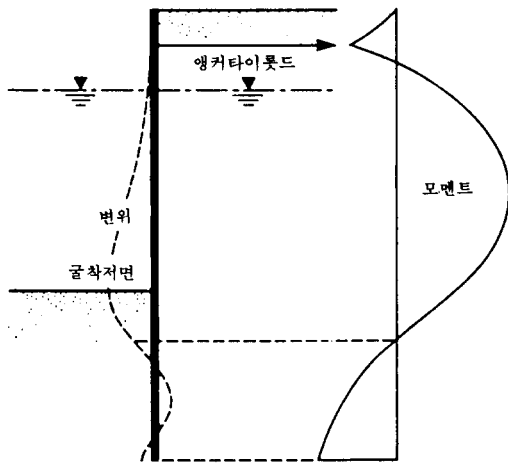
7. 자유단지지법과 고정단지지법

굴착고가 10m를 초과할 경우 널말뚝 꼭대기 부근을 어스 앵커에 정착시키는 것이 경제적이 된다. 이것을 앵커식 널말뚝 벽이라 한다.

Fig.7.1에는 자유단지지법과 고정단지지법에 의해 설계된 앵커식 널말뚝벽의 변형특성과 휨모멘트의 특성을 보이고 있다.



(a) 자유단지지법 방법



(b) 고정단지지법 방법

Fig.7.1 앵커식 널말뚝벽체의 변형도와 휨모멘트도

7.1 자유단지지법

(1) 모래지반인 경우

Fig.7.2는 모래지반 속에 타입된 앵커식 널말뚝 벽체를 보인 것이다.

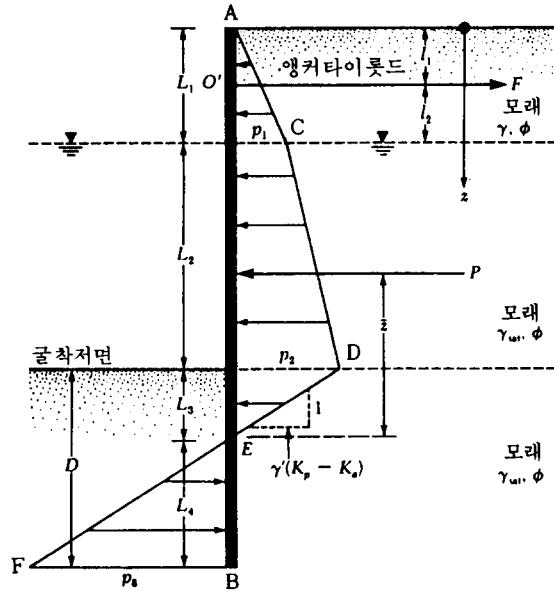


Fig.7.2 모래지반에 타입된 앵커식 널말뚝벽체

널말뚝과 앵커체를 앵커로 연결시키는 타이로드는 널말뚝의 꼭대기에서 l_1 의 깊이에 위치하게 된다. 굴착바닥 위의 순수토압분포도는 Fig.6.2에서 보인 것과 비슷하다. 깊이 $z=L_1$ 에서 $P_1 = \gamma L_1 K_A$ 그리고 깊이 $z=L_1+L_2$ 에서 $P_2 = (\gamma L_1 + \gamma' L_2) K_A$. 굴착바닥 저면으로의 깊이 $z=(L_1+L_2+L_3)$ 에서 순토압은 0이 될 것이다. L_3 에 대한 관계식은 식(6.6)에 의해 주어진다.

$$\text{즉, } L_3 = \frac{P_2}{\gamma'(K_p - K_A)}$$

깊이 $z=(L_1+L_2+L_3+L_4)$ 에서 순토압은 다음식에 의해 주어진다.

$$P_3 = \gamma'(K_p - K_A)L_4 \quad (7.1)$$

DEF선의 기울기는 수직거리 1에 수평거리 $\gamma'(K_p - K_A)$ 이기 때문이다.

널말뚝의 평형상태에서, Σ 수평력 = 0이고 점 O'에 대한 모멘트 합력은 0이다. (참조 : 점 O'는 타이로드의 위치이다).

벽체의 단위길이당 수평방향력을 더하면,
 토압분포도 ACDE의 면적 - EBF의 면적
 $-F = 0$

여기서, F : 벽체의 단위폭에 걸리는 타이롯드의 힘이다.

$$P - 1/2 p_0 L_4 - F = 0$$

$$\text{즉, } F = P - 1/2 [\gamma'(K_p - K_A)] L_4^2 \quad (7.2)$$

여기서, P : 토압분포도 ACDE의 면적

이제, 점 O'에 대한 모멘트를 취하면

$$-P[(L_1 + L_2 + L_3) - (\bar{z} l_1)] + \frac{1}{2} [\gamma'(K_p - K_A)] \cdot L_4^2 \cdot (l_2 + L_2 L_3 + \frac{2}{3} L_4) = 0$$

$$\text{즉, } L_1^3 + 1.5 L_1^2 (l_2 + L_2 + L_3) - \frac{3P[(L_1 + L_2 + L_3) - (\bar{z} l_1)]}{\gamma'(K_p - K_A)} = 0 \quad (7.3)$$

이 식은 시산법에 의해 이론적인 깊이 L_4 를 구한다. 그러면 이론적인 관입깊이는 다음과 같다.

$$D_{\text{theo}} = L_3 + L_4$$

실제적인 시공에 있어서 실제 관입깊이는 이보다 30~40% 증대되어야 한다.

$$D_{\text{act}} = (1.3 \sim 1.4) \cdot D_{\text{theo}} \quad (7.4)$$

받고 있는 이론적인 최대모멘트는 $z = L_1$ 에서 $z = L_1 + L_2$ 사이의 깊이에서 발생한다. 그런데 전단력이 0인 곳, 즉, 최대모멘트가 발생하는 깊이 z 는 다음식에 의하여 구할 수 있다.

$$\frac{1}{2} p_1 L_1 - F + p_1(z - L_1) + \frac{1}{2} K_A \gamma'(z - L_1)^2 = 0 \quad (7.5)$$

일단 z 의 값이 결정되면, 최대 모멘트는 쉽게 구할 수 있다.

(2) 점토지반의 경우

Fig.7.3은 굴착바닥 저면이 점성토인 지반에 타입된 앵커식 널말뚝벽체를 보인 것이다.

굴착바닥 위의 토압분포도는 Fig.6.3의 것과 비슷하다. 굴착바닥 저면($z = L_1 + L_2$ 에서부터 $z = L_1 + L_2 + D$ 까지)에서의 순토압분포는 식(6.25)에 의해 구할 수 있다. 즉, $p_0 = 4C - (\gamma L_1 + \gamma' L_2)$

$$\text{정적평형상태에서 수평방향의 힘을 합하면} \\ p_1 - p_0 D = F \quad (7.6)$$

여기서, p_1 : 토압분포도 ACD의 면적

F : 널말뚝의 단위폭에 주어지는 앵커력

다시, 점 O'에 관한 모멘트를 취하면

$$p_1(L_1 + L_2 - l_1 - \bar{z}_1) - p_0 D(l_2 + L_2 + \frac{D}{2}) = 0$$

이 식을 간단히 하면 다음과 같이 된다.

$$p_0 D^2 + 2p_0 D(L_1 + L_2 - l_1) - 2p_1(L_1 + L_2 - l_1 \bar{z}_1) = 0 \quad (7.7)$$

이 식에서 이론적인 관입깊이 D는 구할 수 있다.

이러한 경우의 최대힘모멘트는 $L_1 < z < L_1 + L_2$ 인 깊이에서 발생하는데, 전단력이 0인 깊이(즉, 이것은 최대힘모멘트 발생지점)는 식(7.5)를 사용하여 구할 수 있다.

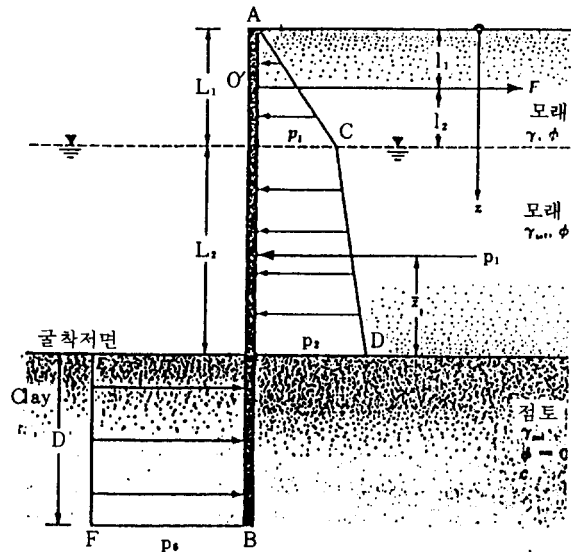


Fig. 7.3 점토지반에 타입된 앵커식 널말뚝 벽체

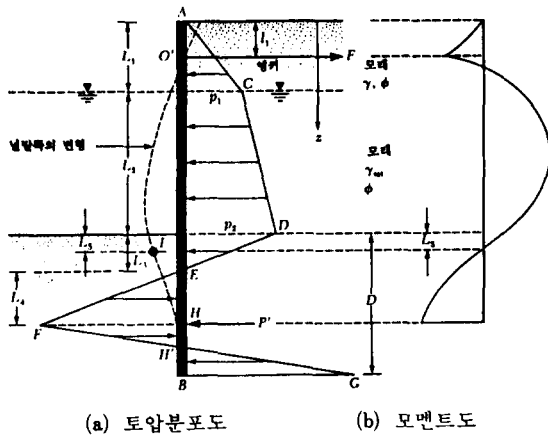
7.2 고정단지지법

고정단지지법에서는 자유단지지법에서와는 달리 널말뚝벽체 앞굽이 회전으로 부터 고정되어 있다고 가정하는 것으로, 이 때문에 널말뚝벽체 근입부에 부의 모멘트가 발생한다고 보는

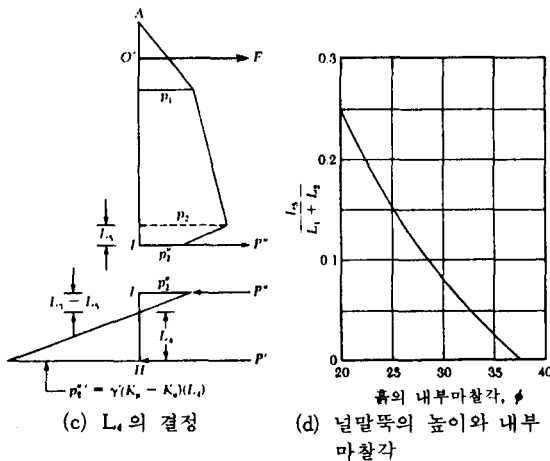
것이다.

1931년 H.Blum은 널말뚝을 앵커부착점과 Fig.7.4(a)에서 널말뚝의 변형된 모양의 변곡점 I를 지점으로 하는 단순보로 가정하는 해석법을 제안하였다. 점 I는 한지로 볼 수 있으므로 휨모멘트는 0이 된다. Blum은 해석을 위해 굴착바닥에서 변곡점까지의 거리(L_5), 널말뚝 벽의 높이(L_1+L_2)와 널말뚝 벽 배면에 있는 흙의 마찰각 ϕ 의 관계를 수학적으로 구하여 Fig.7.4(d)를 제시 하였다.

ϕ 값과 L_1+L_2 의 값을 알면 L_5 의 크기는 구할 수 있다. 점 I 위의 널말뚝 부분(Fig.7.4 c)은



(a) 토압분포도 (b) 모멘트도



(c) L_4 의 결정 (d) 널말뚝의 높이와 내부 마찰각

Fig.7.4 모래지반에서의 고정단지지법

이제 앵커력 F (kN/m)와 전단력 p' (kN/m) 그리고 순회토압에 저항하는 보로서 간주될 수 있다. 그러면 전단력 p' 는 점 O' (이것은 앵커의 설치위치에 대해 모멘트를 취함으로서 구할 수 있다.

일단 p' 만 구하면, L_4 의 길이는 점H에 대한 모멘트를 취함으로서 구할 수 있다(Fig.7.4 c의 아래 그림 참조)

근입깊이 D 는 $1.2 \sim 1.4(L_3+L_4)$ 이다.

7.3 Rowe의 모멘트 감소법

널말뚝벽체는 연성이기 때문에 변형을 일으키게 되는데, 이러한 변형은 토압 재분포의 결과를 가져와 변형이 증가할수록 휨모멘트는 감소하는 경향이 있다. 이러한 이유 때문에 Rowe는 자유단지지법에 의해 구하는 널말뚝 벽체의 최대설계모멘트를 감소시키는 방법을 제안하였다.

사질토 지반에 타입된 널말뚝벽체에 한하여 Fig.7.5와 Fig.7.6은 유효하다. 이 그림에서의 기호에 대한 설명은 다음과 같다.

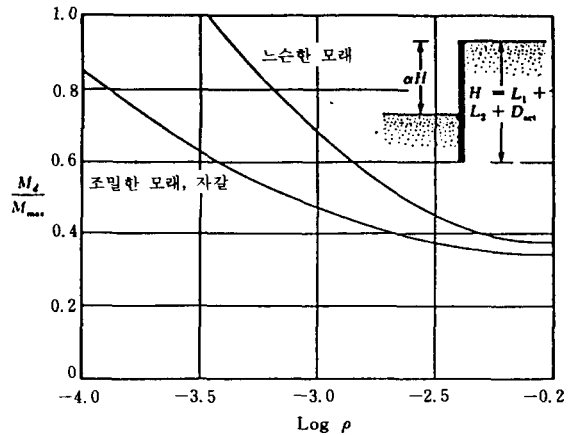


Fig.7.5 모래지반에 타입된 널말뚝 벽체의 $\log \rho$ 와 M_d/M_{max} 관계(자립식 널말뚝의 경우)

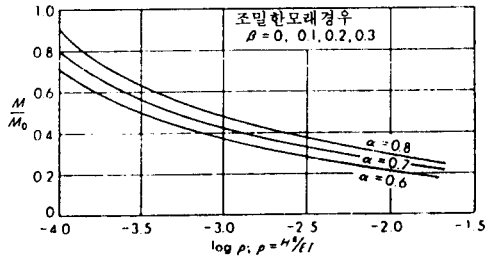
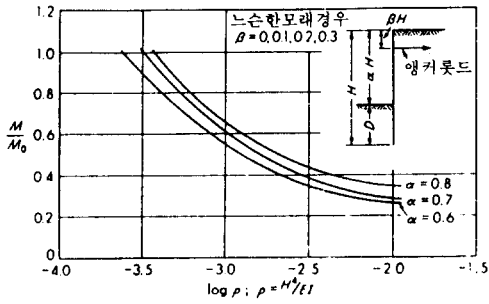


Fig.7.6 모래지반에 타입된 널말뚝 벽체의 $\log \rho$ 와 M_d/M_{max} 관계(앵커식 널말뚝의 경우)

①벽체의 상대연성

$$\rho = 10.91 \times 10^{-7} \left(\frac{H^4}{EI} \right) \quad (7.8)$$

여기서, H : 벽체의 총높이(= $L_1 + L_2 + D_{act}$, 단위 m)

E : 벽체의 Young 계수(MN/m²)

I : 벽체의 단위 폭당 단면2차모멘트(m⁴/m)

②M_d : 설계 모멘트

③M_{max} : 이론적인 최대모멘트

점토지반에 타입된 널말뚝 벽체에 대해서는 Fig.7.7이 유효하다. 이 그림에서의 각 기호에 대한 설명은 다음과 같다.

①안정수(Stability number)

$$Sn = 1.25 \times \frac{C}{\gamma L_1 + \gamma' L_2} \quad (7.9)$$

여기서, C : 비배수점착력($\phi=0$)

$\gamma, \gamma', L_1, L_2$ 는 Fig.7.3 참조

$$\textcircled{2} a = \frac{L_1 + L_2}{L_1 + L_2 + D_{act}} \quad (7.10)$$

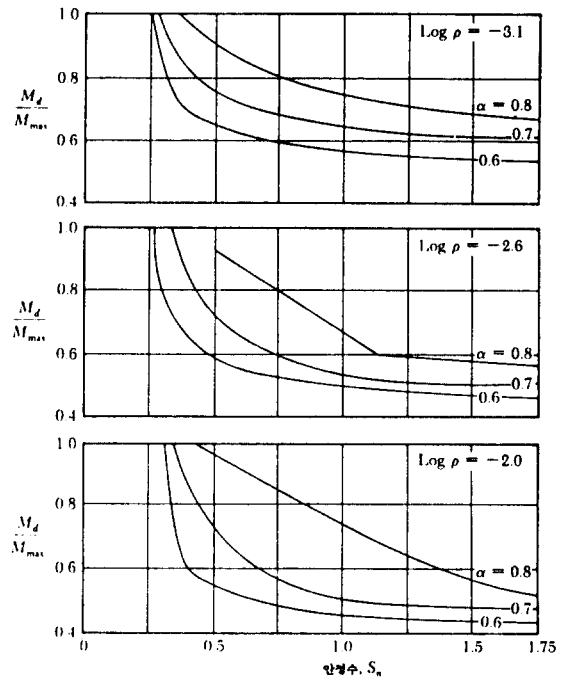


Fig.7.7 점토지반에 타입된 널말뚝벽체의 M_d/M_{max} 와 S_n 의 관계

(제9권2호에 계속)