인장 및 압축형 앵커의 비교분석 (I)

ANCHOR

본 기고에서는 현장실물시험을 통해 일반적인 그라운드 앵커의 크립 변형을 확인하고
정착방법의 특성상 영구 변형량 및 2차 변형량이 큰 인장형 앵커와 상대적으로 크립 변형량이 적은
압축형 앵커를 비교 분석을 해보고자 한다.

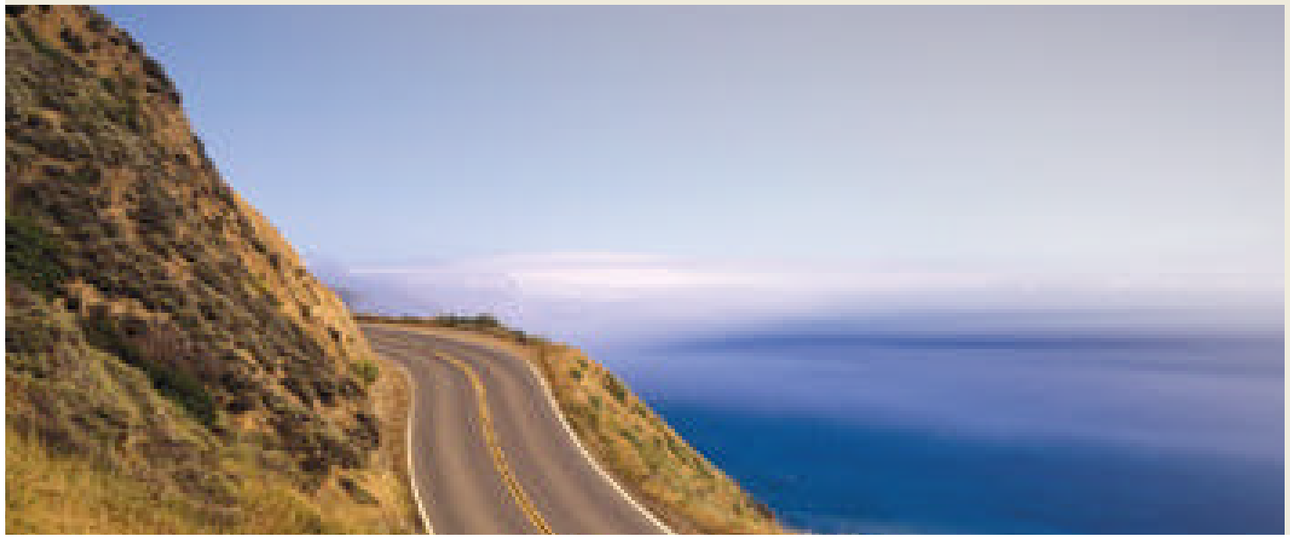
황철비_ 토목기술부과장_02 - 3433 - 7774 _ hcb@ssyenc.com

일반적으로 앵커 공법은 토목이나 건축의 구조물을 지반에 정착시키기 위하여 고강도의 강재로 연결하여그강재에높은긴장력을도입하여구조물에횡방향또는연직방향의구속력또는선행하중을가하기위한효과적인공법으로근래에국내외에서활발히사용되고있다.

그라운드앵커는그말뜻과같이지반에박는못이란 의미이며 지반과 구조물을 하나의 집합체로 묶는 효과를 발휘하며 일반적으로 강선과 시멘트 그라우트로 구성되어있다. 앵커는 가설 토류벽의 지보공, 영구 앵커 토류벽, 송전탑 기초, 댐의 보강, 지하구조물의부력앵커, 사면보강등다양하게 사용된다.

국내에서도 거의 모든 토목분야에 그라운드 앵커가적용될정도로그적용분야가급격히증가하고있으나아직적절한앵커의설계와시공에관련한규준은없는실정이다.

따라서 본 기고에서는 현장실물시험을 통해 일반적인그라운드앵커의크립변형을확인하고정착방법의특성상영구변형량및 2차변형량이큰인장형앵커와상대적으로크립변형량이적은압축형앵커를비교분석을해보고자하며, 1차기고에서는 앵커에 대한일반적인 내용을 기술하고, 2차 기고에서는 현장실물시험을 통해 얻은 결과를 가지고 새로운 메커니즘의 앵커시스템을 제안해 보고자한다.



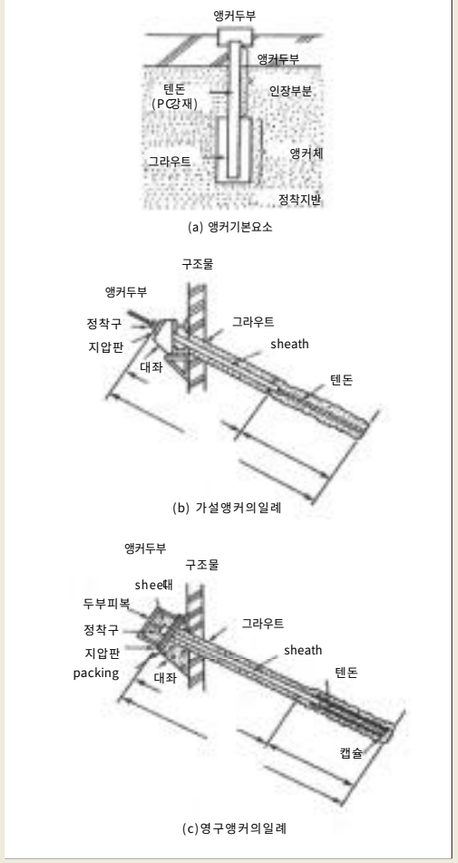
1. 정 의

일반적으로앵커공법은토목이나건축의구조물을 지반에정착시키기 위하여고강도의강재로 연결하여 그강재에 높은 긴장력을 도입하여 구조물에횡방향또는연직방향의구속력또는선행하중을 가하기위한효과적인공법으로근래에 국내외에서 활발히 사용되고 있다. [그림 2.1]은 전형적인그라운드앵커의형태와구성요소를나타낸다.

앵커에 가해지는 여러가지 하중을 구분하기 위해 설계하중(Design Load,DL), 시험하중(Test Load,TD), 초기하중(Alignment Load,AD) 등으로 구분한다. 설계하중은 앵커의 설계시예상되는 앵커에 작용되는 최대하중을 말하며, 시험하중은 앵커시험 중가해지는 최대하중의크기를말한다. 초기하중은 명목상의 하중으로 앵커헤드에 올려지는재하판등과같은장치를걸어두기위한하중을의미한다.

최근에는 가시설물의 안정성 확보를 위해 가설앵커가 많이 사용되고 있으며, 대지 점유 및 사유지 침범 등의 문제 등 앵커공사와 관련한 민원문제가대두됨에따라가설앵커와제거식앵커에대한적용및연구가활발하게진행되는추세이다.

[그림2.1] 앵커의구성



2. 구성요소

그라운드앵커(이하앵커라고도함)는구조물에서의인장력을지반에전달하기위한구조부재의일종이다. [그림2.1(a)]는그라운드앵커를모식화한것이며, 인장부분의인장력을지반에전달시키는기능을가진「앵커체」, 앵커두부에서의인장력을앵커체에 전달하는 「인장부」 및 앵커를 구조물에 긴결(緊結)하는역할을가진「앵커두부」로구성된다.

[그림 2.1(b), (c)]는 공용기간이 2년 이하의 가설앵커와 본설 구조부재로써 사용되는 영구앵커의일례를제시한것이며, 앵커시공법이나구성부재에 의해 앵커 각부의 형상은 약간 다르지만 그 구조나기능은다음과같다.

(1) 앵커체

앵커체는 앵커에 작용된 힘을 그라우트에 전달하는 부분으로, 통상 시멘트계의 그라우트와 PC강재로 조립된 텐돈(tendon)에 의해 구성되고 있으며 [그림 2.1]에 제시하는 바와 같이 지반과의

마찰저항내지지압저항에의해인장부에서의인장력을지반에전달시킨다.

또한, 영구 앵커에서는[그림 2.1(c)], [그림2.3]에제시하는바와같이텐돈의앵커체안부분, 즉 텐돈부착길이부분의부식보호를위해캡슐로덮어씌우는경우도있다.

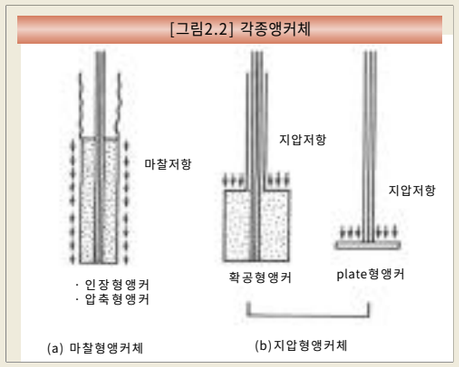
(2) 인장부

인장부는 앵커 두부에서의 인장력을 앵커체에 전달하는 부분이다. 이 인장부는 [그림 2.4]에 제시하는바와같이, PC강wire rope나PC 강봉등으로조립된텐돈과텐돈자유길이부분의마찰저항을없애고앵커의신장량을균일하게하기위한쉬스(Sheath)로 구성된다. 잭길이(Jacking length)란 그라운드앵커에힘을가하거나시험을 위한하중을주는데필요한길이를말한다.

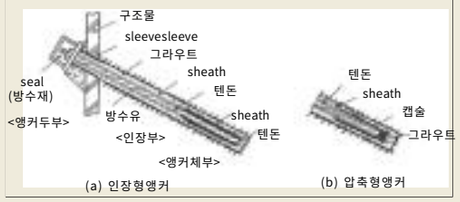
(3) 앵커두부

앵커 두부는 텐돈에 발생하고 있는 인장력을 구조물에 확실히 전달시키는 기능을 가진다. [그림 2.1]에 제시한 바와 같이, 텐돈을 앵커 두부에서 조이고, 또한 고정시키기 위해 사용되는 쐐기, 너트등의정착기구에의한큰지압하중을분산시키기위해설치하는강제의지압판및대상구조물의 표면에대해서축심방향을수직으로유지하기위한대좌로구성되어있다.

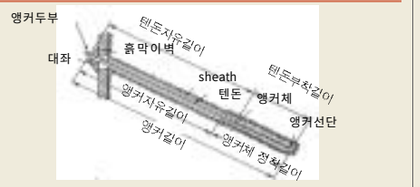
[그림2.2] 각종앵커체



[그림2.3] 영구앵커구조



[그림2.4] 가설앵커의구조



3. 종류와 특징

그라운드앵커는공용기간, 지지기구, 앵커구성재료, 시공방법등에따라분류된다.

(1) 공용기간에의한분류

일본지반공학회의「그라운드 앵커에 관한 기준」에서는 앵커의 사용기간에 따라 가설앵커와 영구앵커의2종류로구분하고있다.

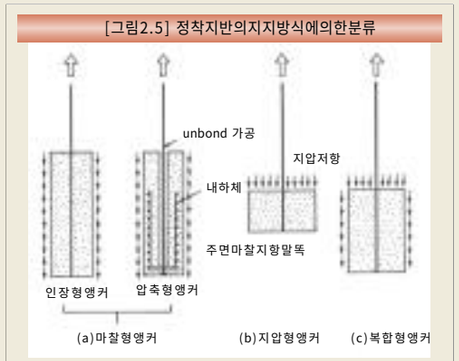
이중, 가설앵커는흙막이지보공등비교적짧은기간, 즉2년이내에서사용되며, 영구앵커는구조물의전도·부상방지, 사면안정등의대책으로서사용되는 앵커이며, 부식 처리나 유지 관리 등 장기간에걸쳐그기능이유지되도록하여야한다.

(2) 정착지반의지지방식에의한분류

정착지반의지지방식에의한분류는[그림 2.5]에 제시하는 바와 같이 마찰형 앵커, 지압형 앵커 그리고복합형앵커의3종류로크게나눌수있다. 이들 중 [그림 2.5(a)]에 제시한 마찰형 앵커에서는앵커체와정착지반사이에작용하는주면마찰저항에의해인장력을지반에전달한다. 또한, [그림 2.5(a)]에서는그라우트의발생응력에의해다시분류하면, 인장응력이발생하는경우를인장형앵커, 압축응력이 생기는 경우를 압축형앵커라고할수있다. 단, 압축형앵커에서는앵커체전단에가해지고 있는 지압하중을 전달하기 위해 내하체라고하는원통상의강재를설치하고있다.

[그림 2.5(b)]의 지압형앵커에서는앵커체전면에 작용하는 지반의 수동 토압(지압)의저항에의해서인장력이지반에전달된다.

[그림2.5] 정착지반의지지방식에의한분류



(3) 앵커구성재료에의한분류

①그라우트(Grout)

앵커체를 구성하는 그라우트는 현재까지는 시멘트계 그라우트가 주를이루고 있으며, 시멘트 페이스트와 시멘트 몰타르로써 사용된다. 시멘트 몰타르는 앵커 공법이 도입된 초기에는 자주 사용되었지만, 현재로써는 암반이나 지하수가 심한지반등의특수조건하에서만사용되고있다. 일반적인지반에서앵커의시공에는시멘트페이스트가대부분사용되고 있다.

합성 수지계 시멘트 페이스트는 시멘트계 그라우트가 사용되지못하는경우, 즉지반이나지하수중에황산염등부식성 화학물질이다량으로포함되고있는지반에서의시공에적용된다.

②텐돈 (Tendon)

텐돈을구성하는인장재에는PC 강재와신소재계의재료의 2종류가 있다. 이들중 PC강재는 일본 지반공학회 기준에 의하면“ PC강선, PC강 wire rope, 이형 PC강선, 또는 PC강봉, 이형 PC강봉 ”으로 규준하고 있다. 일반적인 앵커에 대해서 가장 많이 사용되는 PC강재는 (기호) SWPR 7B, 7연 12.7mm 직경과15.2mm 직경의 PC강wire rope이다.

한편, 탄소섬유나aramid 섬유등의신소재는합성수지계 그라우트와 마찬가지로 내부식성을 중요시하는 영구 앵커의 구성 재료로서 주목되고 있으며, 텐돈에 탄소 섬유를 채용한 여러가지영구앵커가개발되고있다.

(4) 시공방법에의한분류

그라우트주입식앵커는그라우트, 즉시멘트페이스트의가압상황에따라가압앵커와부가압앵커로크게나눌수있다. 이와같이, 두가지의가압방법이 채용되고 있는 이유는 그라우트에의 가압효과, 즉정착지반에의그라우트의침투에의한주면마찰저항의증가에관한평가법에정설이없기 때문이라고할수있다.

다만, 사질토계지반에서시공한가압앵커를파내고조사한결과, 앵커체의직경이천공용케이싱 직경보다 크거나 앵커체 표면이 정착지반에 침투한흔적이인정되어서2 5kgf/㎠정도의가압이 행해지는경우가많다.

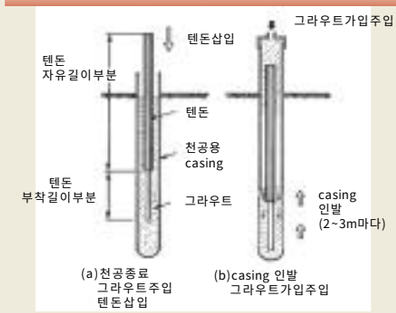
가압형 앵커에는 가압 방법에 의해 다름과 같이 3종류로세분할수있다.

①케이싱가압앵커

작업성이좋은점이있기때문에가장일반적인그라우트가압방법이다. 그림 2.6과같이정착지반까지의천공을완료한 후, 그라우트를 주입하고 텐돈(tendon)을 삽입하고 천공용 케이싱을2 3m씩인발한다.

케이싱을 인발하면서 케이싱 두부에 그라우트 주입용 호스를연결해서, 소정압력을가하는방법이다.

[그림2.6] 케이싱가압앵커

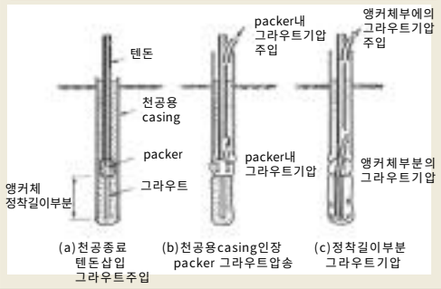


②패커(packer) 가압앵커

[그림 2.7]과 같이 텐돈 조립시에 길이가 30 50cm의 주머니 상태의 패커(packer) 앵커체 상부에 정착해 놓는다. 텐돈삽입후, 그라우트를주입하고 천공용케이싱을 패커상부까지 인발한다. 그리고 나서 우선 패커내를 그라우트로 채우고패커, 앵커, 앵커체의순서로가압하는방법이다.

패커가압은그라우트를소정압력으로확실히가압할수있지만, 일손이많이드는 단점이있으며현재로서는대체로인발시험용앵커의시공에한정되어사용되고있다.

[그림2.7] Packer 가압앵커



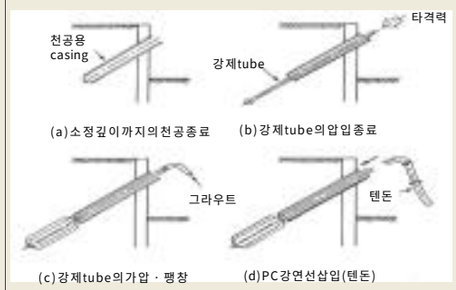
③천공 · 타입및그라우트가압에의한확공형앵커

[그림 2.8]과같이타입과그라우트가압을병용해서사용하는확공형앵커이다. [그림 2.8]에서보는바와같이시공되며, 우선케이싱을사용해서입구를천공한다. 다음으로접은강제튜브를구멍바닥까지삽입하고타격력에의해소정깊이까지 압입한다. 그리고, 강제 튜브내에 그라우트를 가압 주입하고 소정직경으로될때까지팽창시킨다. 끝으로이팽창한강제튜브내에PC강wire rope를삽입시킨후케이싱을회수한다.

이타입의앵커체(확공부)의형상은직경 50 80cm, 길이 1.5 2.0m 정도이며 짧은앵커체 길이로비교적큰 극한 인발력이얻어지는장점이있다.

이외에설치방법에따라, 앵커두부의정착방식에따라, 앵커체의형상에따라분류할수있다.

[그림2.8] 그라우트가압에의한확공형앵커



4. 그라운드앵커의 극한 인발력

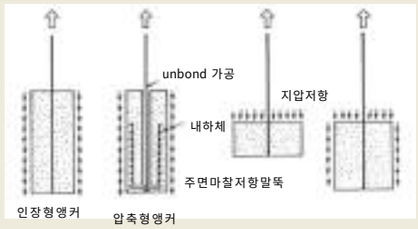
그라운드 앵커에 가하는 인장력에 대한 저항력을발휘하는메커니즘은아래와같다.

1) 텐돈(Tendon)의파괴
2) 그라우트와텐돈사이의부착저항항복
3) 그라우트의압축파괴
4) 앵커체주면에작용하는마찰저항항복
5) 앵커체상단에작용하는지압저항항복
6) 지반내의전단미끄러짐

(1) 그라우트강도에의한극한인발력

앵커체 그라우트에 발생하는 응력은 텐돈의 종류, 가공상황의차이, 내하체의유무, 앵커체의형상등에따라다르며, [그림 2.9]에서보는바와같이 그라우트에 인장 응력이나 압축응력이 발생한다. 따라서 앵커 부재를 설계할 경우에는 인장형앵커에서는 텐돈 부착 길이 부분(정착부)에 있어서의텐돈과 그라우트사이의부착응력이, 압축형앵커에서는 내하체 부분에 있어서의 그라우트의압축응력이주된항목이된다.

[그림2.9] 정착지반의지지방식에의한인발력분포



①부착강도

텐돈(Tendon)과 그라우트 사이의 부착력에 관한 연구는 비교적 적고 실험 데이터도 적다. 일본 지반공학회의 기준에서는 겉보기 부착 면적과 겉보기 허용 부착 응력도를 근간으로하고, 철근 콘크리트구조(RC)에서의 부착강도를 기준으로하여텐돈부착길이가길게된경우의저감효과를고려해서<표2.1> 같은값을제시하고있다.

이형 철근의 부착 저항은 [그림 2.10]과 같이 철근 표면에 따라 발생하는 지압력(비스듬한 방향)에 의한 것으로 생각되고있으며이지압력의방사방향성분에의해철근주위의콘크리트에원주방향의인장응력이발생한다.

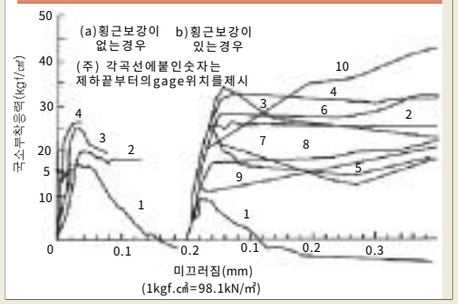
한편, 지압력의 축 방향 성분은 콘크리트 하중을 전달하기 때문에 철근 주변의 콘크리트는 여러 가지 응력 상태를 보이고 있다. 그러나 최종적으로는 철근의 활동을 허용하는 재료의 축방향을 따르는 할렬 파괴가 생기고 부착 저항이 완전히 없어지게된다. [그림 2.11]는이형철근주위의가로보강근 유무에 의한 부착 응력에의 영향을 보여주며 가로 보강근의 구속 효과에 의해 부착강도가증가하고, 또한 미끄러지기시작해도부착응력의저하량이적은것을알수있다.

[그림2.10] 이형철근의그라우트와의부착

<표2.1> 허용부착응력(kgf/cm2) (일본지반공학회기준)

인장재종류 \ 그라우트설계기준강도		150	180	240	300	400이상
가설앵커	PC 강선 PC 강봉 PC 강연선 다중PC강연선	8	10	12	13.5	15
	이중PC 강봉	12	14	16	18	20
영구앵커	영구앵커 PC 강선 PC 강봉 PC 강연선	-	-	8	9	10
	이중PC 강봉	-	-	16	18	20

[그림2.11] 국소부착응력-미끄러짐곡선



②압축강도

[그림 2.9]에제시한압축형앵커에서는그라우트의지압강도에의한저항력을근간으로한다. 그러나일본의건축학회지침에서는 pre-stressed 철근 콘크리트 구조물과 같이 텐돈에대해서충분한피복두께가확보되어있지않고비교적느슨한 지반에서는앵커체의구속력도작다고판단되기에압축형앵커의그라우트응력은압축강도로검토하도록규정하고있다.

[그림 2.12]는 압축형 앵커의 거동 시산 예를 제시한 것이다. 설계앵커력(T_d)를 40tf로 하고, 극한 주면 마찰 저항(T_u)

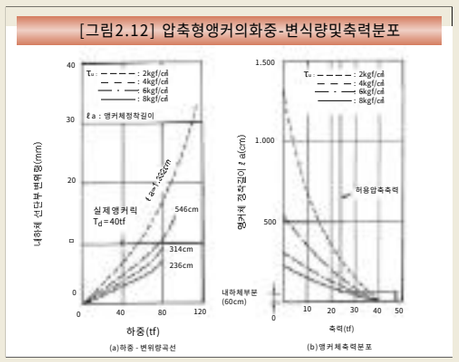
의값을 2~8kgf/cm²사이에서변화시켜, 내하체선단부분의 변위량과 앵커체의 축력 분포를 구하고 있다. [그림 2.12 (b)]의축력분포에의하면내하체상단부에서그라우트의발생축력이허용압축력을상회하고있다. 그리고극한주면마찰저항이작은압축형앵커일수록압축파괴의가능성이큰것을알수있다.

(2) 정착지반에의한극한인발력

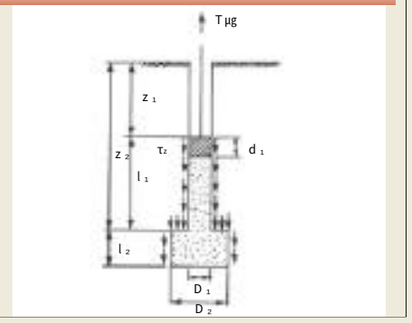
정착지반에의한극한인발력은정착지반의성상, 앵커체의설치깊이, 앵커체의형상, 인접앵커와의거리등각종요인에영향을받는다.

일본지반공학기준에서는[그림 2.13]에서와같이앵커체가비교적깊은위치에설치된단일앵커의 경우, 정착 지반에 의한 극한 인발력은 앵커의 주면의마찰저항과앵커체확대부분상단에서의 지압저항의합으로나타내었다.

[그림2.12] 압축형앵커의화중-변식량및축력분포



[그림2.13] 앵커체의저항기구



①주면마찰저항

앵커체와 정착지반 사이의 주면마찰 저항(τi)은 다음과같이표현된다.

$\tau_i = K \cdot \sigma_z \cdot \tan\phi + c$ (식2.1)

여기서, τi: 정착지반과그라우트사이의극한주면마찰저항 (kgf/㎠), K: 토압계수, σz: 유효상재압 (kgf/㎠), φ흙의내부마찰각(°), c : 흙의점착력 (kgf/㎠)

[단위환산: 1 kgf/㎠= 98.1 kN/㎡]

극한주면마찰저항을(식2.1) 에의해구하기위해서는토압계수(K)를적절히추정할필요가있다. 그러나현재까지는신뢰성이높은토압계수의추정방법이없어일본지반공학회기준을 인용하고자 한다. <표 2.2> 이 표는 실물 크기 앵커를대상으로한기본시험결과에의거해서정착지반을암반, 사력, 모래, 점성토의지반으로나누어극한주면마찰저항을주고있다.

<표 2.3>에 정착지반과 그라우트와의 마찰 저항에 관해PTI(미국, 1996)의기준을나타내었다. 일본지반공학회의기준과는다르게대상지반과그라운트앵커의종류에따라각각세분화하여자세히나타나있음을볼수있다.

본기고에서는현장실물앵커의설계에있어마찰저항과관련한수치는PTI(미국, 1996)기준을이용하였다.

<표2.2> 앵커의주면마찰저항(일본지반공학회기준)

지반종류			마찰저항 (kgf/cm²)
암반	경암 연암 풍화암 고결실트암		15~25 10~15 6~10 6~12
사력	N치	10 20 30 40 50	1.0~2.0 1.7~2.5 2.5~3.5 3.5~4.5 4.5~7.0
모래	N치	10 20 30 40 50	1.0~1.4 1.8~2.2 2.3~2.7 2.9~3.5 4.5~7.0
점토성			1.0c (c는점착력)

②지압저항

[그림 2.15]는모래지반중에설치한 모형앵커의지압저항(Qq)와마찰저항(Qf)의발현상황을정리한것이다. 그림에

<표2.3> 그라우트와대상지반사이의마찰저항(PTI, 미국, 1996)

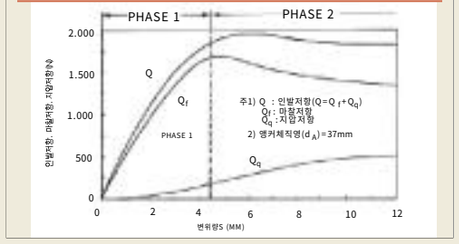
Rock		Cohesive Soil		Cohesionless Soil	
Rock Type	Average Ultimate Bond stress (Mpa)	Anchor Type	Average Ultimate Bond stress (Mpa)	Anchor Type	Average Ultimate Bond stress (Mpa)
Granite and basalt	1.7-3.1	Gravity-grouted anchors (straight shaft)	0.03-0.07	Gravity-grouted anchors (straight shaft)	0.07-0.14
Dolomitic limestone	1.4--2.1	Pressure-grouted anchors (straight shaft)		Pressure-grouted anchors (straight shaft)	
Soft limestone	1.0-1.4			* Fine-med. Sand, med. dense-dense	0.08-0.38
Slates and hard shales	0.8-1.4	* Soft silty clay	0.03-0.07	* Med. Coarse sand, med. sand	0.11-0.66
Soft shales	0.2-0.8	* Silty clay	0.03-0.07	* Med. Coarse sand, dense-very dense	0.25-0.97
Sand stones	0.8-1.7	* Stiff clay, medium to high plasticity	0.03-0.10	* Silty sands	0.17-0.41
Weatherd Sandstones	0.7-0.8	* Very stiff clay, medium to high plasticity	0.07-0.17	* Dense glacial till	0.30-0.52
Chalk	0.2-1.1	* Stiff clay, medium plasticity	0.10-0.25	* Sandy gravel, med. dense-dense	0.21-1.38
Weatherd Marl	0.15-0.25	* Very stiff clay, medium plasticity	0.14-0.35	* Sandy gravel, dense-very dense	0.28-1.38
		* Very stiff sandy silt, medium plasticity	0.28-0.38		

Note: Actual values for pressure-grouted anchors depend on the ability to develop pressures in each soil type.

의하면, 마찰저항은 앵커 두부 변위량(S)이 4.5mm에최대치를제시하고, 이후서서히저하하고있다. 이것에대해서지압 저항은 앵커체 직경(d_A=37mm)의 약 2배에 달하는 S=80mm에서최대치를제시했다.

Nojiri 등은 실물 크기의 스트레이트형 앵커와 확공형 앵커의앵커체를 N치 50이상의kabu Tokyo 모래층에 설치해서 기본 실험을 하였다. 확공형 앵커는 앵커체 두부의 변위량이 확공경(d_E=400mm)의 약 70%에해당하는약 280mm에서 극한 상태에 도달했고 단위 면적당 지압 저항(q)치로서 1770 tf/㎡을확인했다. 또한, [그림 2.9]에제시한그라우트

[그림2.14] 가압초기에서의지압저항(Q_q)와마찰저항(Q_f)의발현



가압에 의한 확공형 앵커를 모래 지반에 시공하는 경우에 단위면적당지압저항(q)으로서 q=(0.3 0.35)×q_c[단, q_c는콘관입저항, q_c(tf/㎡) = 40×N치]를 제안하고 있는 보고 예도있다.

이와같이, 지압저항과마찰저항은각각발현상황이다르기때문에일본지반공학회기준에서는최대지압저항과최대마찰저항의값을그대로합산하는것에주의를주고있다.

1차 기고에서는 상기와 같이 앵커에 대하여 일반적인 내용을 기술하였으며 다음 2차 기고에서는 현장실물시험을 통해 일반적인 그라운드 앵커의 크립 변형을 확인하고 정착방법의 특성상영구변형량및2차변형량이큰인장형앵커와상대적으로 크립 변형량이 작은 압축형 앵커를 비교 분석한 자료를 기술해보고자한다.

참고문헌

①Ground Anchor 기술협회(日)(1996),“ 그라운드앵커공법설계시공지침 ”, 그라운드앵커기술협회(日)편, pp258-282
②김낙경(2000),“Load Transfer of Ground Anchors in Clay ”, 한국지반공학회논문집, VOL.16, NO3, pp145-155
③김낙경(2001),“압축형앵커의개발및성능평가 ”, 한국지반공학회2001 봄학술발표회논문집, pp339-346