

論文 繊維の種類が異なるハイバックアンカーの引抜耐力

高山 俊一*1・阿比留孝行*2・佐々木孝一*3・牧角龍憲*1

要旨：コンクリート製の模擬岩盤を利用し、アンカー体を覆う袋にアラミドおよびナイロンの各繊維を用いたハイバックアンカーの引抜試験を行なった。また、最大引抜荷重の向上を目的に、グラウト中に膨張材を添加した。引抜試験結果、ナイロン織布の場合の荷重に対する変位量は、アラミド織布の場合に比べ、若干大きくなる傾向がみられた。長期载荷によるナイロン織布Eの場合の変位量は、従来型アンカー、アラミド織布の場合と大きな違いはみられなかった。グラウト中への膨張材のみの添加の場合、膨張圧のピーク後、乾燥収縮によって膨張圧の減少がみられた。改善策として炭酸カルシウムおよび収縮低減剤の添加により、膨張圧ピーク後でも膨張圧の減少はみられなかった。
 キーワード：アンカー、アラミド繊維、斜面の安定、グラウト、膨張材、膨張圧

1. まえがき

構造物を地盤に定着させるアンカー工法は、土留壁の地盤への定着、擁壁の転倒防止、地滑り防止等、多くの工事で用いられている。アンカーは、グラウトを注入して固定するため、砂または砂利の多い地盤や亀裂の多い岩盤でのグラウトの流出やブリージングの影響などで、アンカーの確実施工性が得られにくい。そこで、アンカー体を丈夫な織布の袋で覆い、それらの不安要素を取り除いて確実施工性が得られるように開発されたのがハイバックアンカーである。本研究では、コンクリートで作製した模擬岩盤中にアラミドとナイロンの各織布で作ったアンカー体を打設し、引抜試験を実施し、両者の力学的特性を比較した。また現場では、アンカーが長期的または半永久的に使用されることを考慮し、長期载荷荷重による安定性について実験を行った。さらに、グラウト中に膨張材を混合してアンカー体を膨張させ、アンカー体と岩盤の一体性の向上に関する基礎的研究も行った。

2. ハイバックアンカーの引抜荷重と変位量

2. 1 実験方法

ナイロン織布を用いたハイバックアンカー（以下、HPアンカーと略す）の最大引抜荷重および変位量が、アラミド織布の場合に比較して同程度の引抜耐力を有するか、模擬岩盤を用いたHPアンカーの引抜試験を行った。織布としてはアラミド織布、表-1で表すナイロン66（比重1.14、アルカリ性に対して強い耐久性を有する）を用いたナイロン織布を使用した。同表には、織布の織り方、内径および単位重量を示す。ナイロンIの織布は、岩盤との付着を良くするために袋の直径に大小の変化を設けている。実験は表-2に示すように3シリーズに分けて引抜試験を実施した。

表-1 織布の織り方と単位重量

種類	織り方	内径 (mm)	組 織		単位重量 (g/cm)
			タテ	ヨコ	
A	平織り	140	1890/2×2×400 (3780d×800ホ)	1890/4×38P (7560d×38ホ/10cm)	5.54
B	平織り	140	1890/2×2×400 (3780d×800ホ)	1890/4×42P (7560d×42ホ/10cm)	6.00
C	平織り	154	1890/2×2×400 (3780d×800ホ)	1890/4×38P (7560d×38ホ/10cm)	5.67
D	2/1 綾織り	140	1890/2×2×400 (3780d×800ホ)	1890/4×37P (7560d×74ホ/10cm)	6.83
E	1/2 綾織り	140	1890/2×2×400 (3780d×800ホ)	1890/4×37P (7560d×74ホ/10cm)	6.83
I	1/2 綾織り	140	1890/2×2×400 (3780d×800ホ)	1890/4 (7560d)	5.15

*1 九州共立大学教授 工学部土木工学科 工博（正会員）

*2 新技術工営（株）代表取締役

*3 芦森工業（株）防災開発部部长

2. 2 模擬岩盤およびHPアンカー体の作製

模擬岩盤は、現場で亀裂を有する岩盤と同じ程度の状態にするためにポーラスコンクリートを用いて作製した。その配合を表-3に示す。ポーラスコンクリート（粗骨材の最大寸法20mm）は、空隙を多くするため細骨材を使用していない。岩盤の空隙率は約16%であった。模擬岩盤の寸法は、直径が60.5cmで、高さが100cmである。アンカー孔は打設前に塩化ビニル管（外径113mm、厚さ7mm）を鉛直に立て、コンクリート打設後に塩化ビニル管を引抜いて作製した。岩盤を強化するため格子状の異形鉄筋（D13、鉛直に4本、水平方向に8本を12cmピッチ）を孔の周辺に配置した。また、亀裂のない岩盤を想定し、普通コンクリート（配合を表-3に示す）でも岩盤を作製し、HPアンカーの引抜試験を行った。PC鋼棒（SBPD 930/1080）はD23（公称直径22.59mm、降伏荷重434kN、引張荷重482kN）およびD26（公称直径25.71mm、降伏荷重555kN、引張荷重618kN）を使用した。アンカー体は、グラウト注入の際にグラウトが流出しないように、エポキシ樹脂で上・下端の織布を袋状態にした後、1.8mmの針金で強く巻き付けて作製した。アンカー体の概要を図-1に示す。グラウト注入はφ2.13cmのホースをアンカー体の中央箇所まで挿入して行った。HPアンカー体を岩盤の孔中に入れ、水セメント比55%のグラウトを圧力0.98N/mm²と一定に保ち5分間保持して注入した。グラウトの注入後約3週間

表-2 3シリーズの引抜試験

シリーズ	模擬岩盤の種類	PC鋼棒の種類	織布の種類
1	ポーラスコンクリート	D26	アラミド織布 ナイロン織布A,C,D,E,I
2	ポーラスコンクリート	D23	アラミド織布 ナイロン織布A,B,C,D,E,I
3	普通コンクリート	D23	アラミド織布 ナイロン織布C,E 従来型

養生後、センターホール型ジャッキ(100tf)を用いて引抜試験を実施し、最大引抜荷重および変位量を測定した。引抜試験の概要を図-2に示す。変位計（感度1mmが500μ）は、アンカー体の上部の2カ所に設置し、引抜け量を測定した。また、各織布ごとの排水試験を行い、グラウトを注入した時、織布袋からの水およびセメントの排水量を測定した。排水試験ではアンカー体の長さは80cmとし、引抜試験用のアンカー体と同じく注入圧0.98N/mm²で5分間保持した。ただし、アラミド織布に関しては0.98N/mm²では織布が裂けたため、約0.78N/mm²の圧力で5分間保持した。

3. HPアンカーの引抜き試験結果および考察

3. 1 織布からの排水およびセメントの排出

排水試験結果を表-4に示す。また、同表には同じ織布で測定した昨年の結果¹⁾も示した。同表によると、ナイロン織布D、Iの場合、昨年と比較して2倍ほど排水比大きくなっているが、排出したセメント量から判断すると今年の測定値が妥当であると考えられる。

表-3 模擬岩盤の配合

種類	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)			
			水	セメント	粗骨材	細骨材 混和材
ポーラスコンクリート	30	—	90	300	1988	—
普通コンクリート	45	45	162	360	1060	819

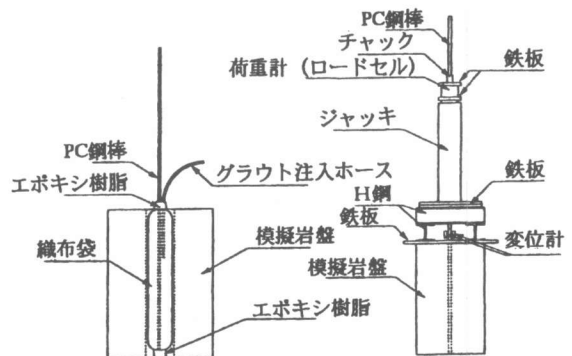


図-1 アンカー体の模式図 図-2 引抜試験状況

アラミド織布の排水量および排水比に比べ、ナイロン織布A、BおよびCの場合はほぼ同等の排水量および排水比を示しているが、ナイロン織布D、EおよびIは排水量および排出セメント量が若干大きくなっている。これは、ナイロン織布A、BおよびCは織布の織り方が平織りであるのに対し、ナイロン織布D、EおよびIは綾織りで織られており、織り方の相違や織布の厚さの違いが影響したのではないかと考えられる。一般に、織布がHPアンカー用として適する品質としては、孔中に織布を挿入する際に岩盤で織布が裂けない丈夫さと、グラウトを加圧注入する際に水と適量のセメントを通すものが良いと考えられる。また、ナイロン織布はアラミド織布に比べ表面が滑らかに出来ており、そのためナイロン織布がアラミド織布と同等な表面の摩擦抵抗性を確保するためには、アラミド織布よりもセメントの排出量が多い方が望ましいものと考えられる。

3. 2 最大引抜荷重と変位量

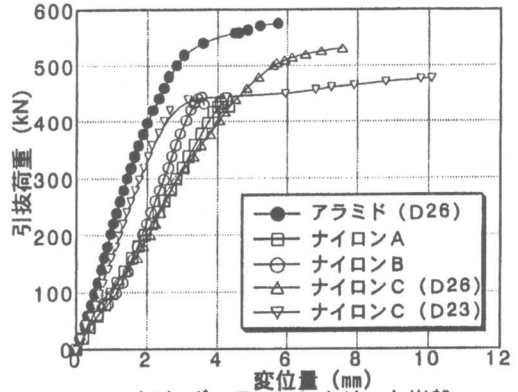
HPアンカーの引抜試験による荷重と変位量の関係を図-3に示す。また、最大引抜荷重および引抜状況を表-5に示す。PC鋼棒のD23を使用したアンカー体の引抜試験結果に関しては、HPアンカーと模擬岩盤の付着が切れる以前にPC鋼棒が降伏してしまったので、最大引抜荷重による検討は行わず荷重と変位量の関係のみで検討を行った。図-3(A)によると、アラミド織布の場合の荷

表-4 排水試験結果

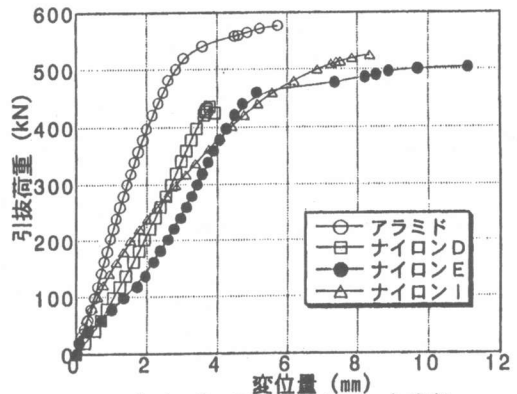
種類	年度	アンカー体重量 kg	排水量 kg	排出セメント量 kg	排水比	セメント排水量	排出した水の濁度
アラミド	96	25.27	4.97	0.08	0.197	0.016	微少な濁り
	97	30.36	5.18	0.04	0.171	0.008	微少な濁り
ナイロンA	96	31.11	5.80	1.74	0.186	0.300	黄褐色
	97	37.98	7.00	0.02	0.184	0.003	黄褐色
ナイロンB	96	29.33	5.40	0.04	0.184	0.007	黄褐色
	97	37.30	7.28	0.01	0.195	0.001	黄褐色
ナイロンC	96	36.91	7.26	0.06	0.197	0.008	黄褐色
	97	40.48	3.18	0.03	0.079	0.009	黄褐色
ナイロンD	96	28.39	4.56	3.62	0.161	0.794	黄褐色
	97	36.44	11.88	3.52	0.326	0.296	灰色
ナイロンE	96	28.93	6.88	0.64	0.238	0.093	黄褐色
	97	33.88	8.14	1.10	0.240	0.135	灰色
ナイロンI	96	34.28	11.10	2.98	0.693	0.268	黄褐色
	97	36.20	25.10	14.31	0.963	0.570	灰色

* 排水比とは排水量をアンカー体の質量で割ったものである。

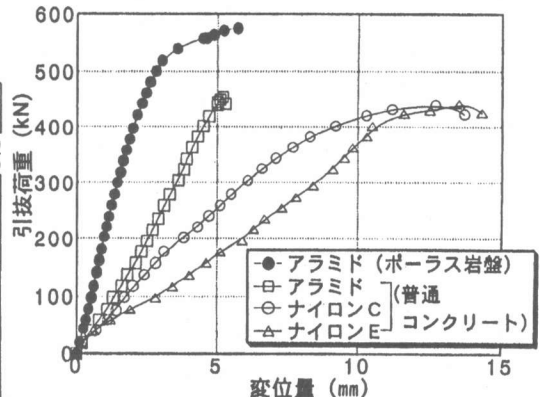
重-変位量曲線に比べ、ナイロン織布の曲線は全体的に緩やかな傾きを示している。これは、アラミド織布の場合に比べ、ナイロン織布では同一荷重に対する変位量が大きいため生じたものと考えられる。すなわち、ナイロン織布の場合、岩盤との付着性が若干低下するものと考えられる。ナイロン織布C(D23)の曲線を見ると、引抜荷重に対する変



(A) ポーラスコンクリート岩盤



(B) ポーラスコンクリート岩盤



(C) 普通コンクリート岩盤

図-3 引抜荷重と変位量の関係

量は他のナイロン織布の変位量よりも小さく、最もアラミド織布での曲線に近い傾きを示している。

(C) 普通コンクリート(岩盤に排水のためにφ16mmの穴が20個開いている)での岩盤による引抜荷重-変位量曲線は、アラミド織布では、ポーラスコンクリート岩盤の場合に比べ、変位量が大きく緩やかとなっている。ポーラスコンクリート岩盤では織布から排水およびセメントが排出し、岩盤へと侵入してアンカー体の強度が増大してHPアンカーの特徴が十分に発揮される。しかしながら、普通コンクリート岩盤では排水およびセメントの排出がしにくくHPアンカーの特長が活かされないため、同一荷重に対する変位量が大きくなったものと考えられる。ナイロン織布の荷重-変位量曲線は、アラミド織布の場合に比べ、変位量がさらに大きくなり、アンカー体と岩盤との一体性が小さいことが分かる。したがって、ナイロン織布では、アラミド織布の場合に比べてHPアンカーに適した箇所での使用が望ましいものと考えられる。

4. 長期載荷荷重による引抜量の変化

4.1 実験方法

現場におけるアンカーの使用期間は長期的または半永久的であり、その間アンカーにはほぼ一定の荷重が加わると考えられる。そこで、本実験では昨年の実験結果¹⁾からアラミド織布と同様にHPアンカーに用いることが出来ると判断したナイロン織布C, Eを使用したアンカーが、長期継続荷重により、どの程度の変位の変化が表れるか測定した。なお、本実験は約3ヶ月間継続して行なった。また比較のため、アラミド織布と従来型(袋を付けない通常のアンカー)のアンカー供試体

も打設した。供試体にセンターホール型油圧ジャッキで荷重を加え、各アンカー体の載荷後の経過時間によるアンカー体の引抜け変位量の変化を24時間周期で測定した。荷重は荷重計(ひずみゲージ式変換器)を用いて測定した。なお、アンカー体に加える引抜荷重は、PC鋼棒(D23)の降伏荷重の約80%の353kNとした。変位量は鋼材のクリープを考慮していない。

4.2 結果および考察

長期引抜試験での各アンカー体の変位量と載荷日数の関係を図-4に示す。同図によると、経過時間に伴って極めて微少であるが変位量の増加がみられる。しかしながら、これまでの研究²⁾から、従来型アンカーでは変位量の変位は極めて小さいという、結果が得られており、また荷重の除荷後の変位がほぼ零の近くまで戻っていることから判断し、アンカーの引抜け量はほとんど無かったものと考えられる。

表-5 最大引抜荷重と引抜状況

織布の種類	使用PC鋼棒	使用模擬岩盤	最大引抜荷重(kN)	アンカーの付着長さ(cm)	孔とアンカーの付着応力(N/mm ²)	引抜け量(mm)	破壊状況
アラミド	D26	ポーラスコンクリート	576	83.9	1.935	—	引抜き時に岩盤に亀裂発生
	D23		441	82.7	1.503	1	PC降伏、若干のひびわれ
	D23		431	84.0	1.446	2	PC降伏、若干のひびわれ
	D23		478	82.2	1.639	7	PC降伏、岩盤にひびわれ
	D26		551	87.5	1.775	18	引抜き時に岩盤に亀裂発生
	D23		425	84.4	1.419	—	PC鋼棒の降伏
ナイロン	D23	普通コンクリート	504	75.9	1.871	7	PC降伏、岩盤にひびわれ
	D26		545	81.9	1.874	46	引抜き時に岩盤に亀裂発生
アラミド	D23	普通コンクリート	442	84.3	1.478	—	PC鋼棒の降伏
ナイロン	D23	普通コンクリート	423	86.3	1.381	9	PC降伏
ナイロン	D23	普通コンクリート	426	82.0	1.464	15	PC降伏

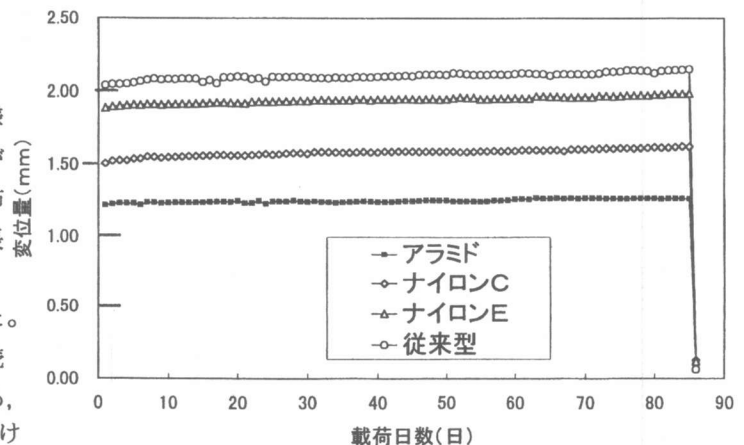


図-4 長期引抜試験と載荷日数と変位量

5. アンカーの定着性向上のための膨張材混入
5. 1 鋼管による間接的膨張圧測定法（外管法）

膨張材には主成分が酸化カルシウム(比重3.14, 粉末度3500cm²/g, (株)小野田製の小野田エキスパン)のものを使用した。膨張圧を簡便に測定するために鋼管による間接的測定法³⁾を用いた。表-6に膨張圧測定法の概要と順序を示す。鋼管は無継ぎ目管で, 外径48.6mm, 内径43.9mm, 長さ23cmのものを使用した。鋼管長さの約1/2の位置の表面2箇所にもストレンゲージ(FCA-2-11)を貼付し, 静ひずみ計(TDS-302, 東京測器研究所(株)製)に接続し, 日に1回膨張圧を測定した。膨張材の使用量はセメント量の内割りとした。実験は表-6に示すように4シリーズで, 恒温室(20±2℃)で行なった。水セメント比は全て4.5%とした。流動性を確保するため高性能減水剤(マイティー150, 花王石鹼製)を添加し, JAロートの流下時間は16~20秒であった。シリーズ1で膨張材混入による膨張圧の大略を把握するため, 鋼管は2種類使用した。膨張材が30%および50%の多量では, 膨張量が大きくなり過ぎて織布を破裂させたため, シリーズ2以降は, 膨張材量を減少した。膨張材のみでは, 乾燥収縮によって膨張圧がピーク後に減少がみられたため, シリーズ3およびシリーズ4では炭酸カルシウム微粉末(比重2.70, 75μmふるいで残分4.0%)および収縮低減剤(ポリエーテル系, 比重1.02, pH7±1, 竹本油脂(株))を使用した。表-7にグラウトの配合の一例を示す。

5. 2 膨張材量と膨張圧

図-5はシリーズ1での膨張圧と経過日数の関係を示す。同図によると, 膨張材50%混入

表-6 膨張圧測定試験

シリーズ	膨張材混入率	混和材及び鋼管
1	15, 30, 50	鋼管は2種類 外径48.6mm, 42.7mm
2	10, 15, 20	鋼管は1種類、 48.6mm, 長さ23cm
3	10, 15	炭酸カルシウム (20%)の有、無
4	8, 15	炭酸カルシウム(20, 30, 40%) 収縮低減剤(5%)

での膨張圧は10N/mm²以上にもなっている。この高い膨張圧でアンカーの織布が裂けたため, 膨張材30~50%の混入はアンカーに適さないと考えられる。したがって, シリーズ2以降では膨張材量を20%以下とした。図-6はシリーズ2での膨張圧の変化を示す。膨張材20%の場合の

表-7 グラウトの配合の一例

水セメント比 (%)	膨張材混入率 (%)	炭酸カルシウム混入率 (%)	単位量 (kg/m ³)				
			水量	普通セメント	膨張材	炭酸カルシウム	収縮低減剤
4.5	10	20	578	1172	130	0	0
4.5	8	20	513	938	104	261	65.1

高性能減水剤量 7.86kg(セメント分量1302kg×0.6%)
消泡剤量 セメント分量1302kg×0.02%

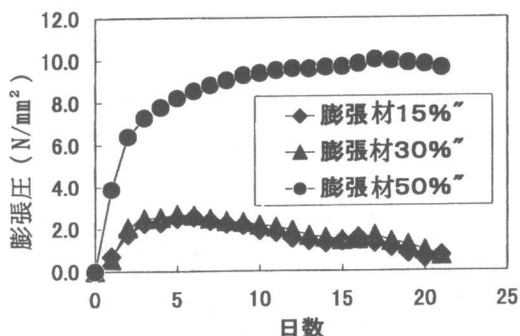


図-5 膨張圧と経過日数 (シリーズ1)

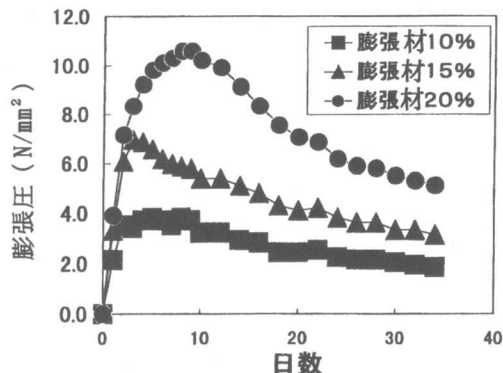


図-6 膨張圧と経過日数 (シリーズ2)

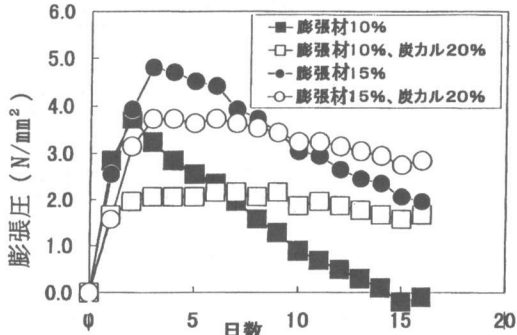


図-7 膨張圧と経過日数 (シリーズ3)

最大膨張圧は約 11N/mm^2 にも達している。また、膨張材量20%および15%の膨張圧は膨張圧のピーク後、経過日数とともに減少する傾向を示した。シリーズ3では膨張材量を10%、15%とし、収縮量を減少させるために炭酸カルシウム微粉末を添加した。炭酸カルシウムが無混入の場合と比較し、その結果を図-7に示す。炭酸カルシウムが無混入の場合は、膨張圧がピークに達した後、急激に膨張圧が減少している。炭酸カルシウム混入の場合の膨張圧は、ピーク後の膨張圧の減少が小さく同一膨張圧を持続する傾向が認められた。したがって、シリーズ4では膨張圧の安定のために炭酸カルシウムの添加量の変化および収縮低減剤を添加して実験を行なった。膨張材量は8%および15%、炭酸カルシウムの混入量は20、30%および40%とし、収縮低減剤(セメント量の5%)の有無とした。図-8は収縮低減剤が無混入の場合を、図-9には混入した場合をそれぞれ示す。両図によると、膨張材量15%での膨張圧は約 5N/mm^2 であるが、8%の場合のそれは $2\sim 3\text{N/mm}^2$ となり膨張圧は膨張材量に比例している。図-8の膨張圧の経時変化は、膨張材量15%の最大膨張圧は約 5N/mm^2 であったが、

87日後のそれが約 2.67N/mm^2 と約53%となり、膨張圧がピークを示した後、緩やかではあるが減少している。図-9の収縮低減剤の混入の場合の膨張圧の経時変化は、膨張材量15%の最大膨張圧は約 5N/mm^2 であったが、87日後に約 3.7N/mm^2 となり74%に留まっている。収縮低減剤混入、膨張材8%および炭酸カルシウム40%の膨張圧の経時変化は、87日後で僅か約11%の減少であるが、同一配合の収縮低減剤の無混入の場合(図-8)は約76%も減少している。したがって、膨張圧の安定には、炭酸カルシウムおよび収縮低減剤の添加が必要であるものとする。現在、この配合を用いてアンカーの引抜き試験を実施中である。

6. まとめ

本研究によって得られた事をまとめて示す。(1)引抜き試験結果から、アラミド織布の場合と比較し、ナイロン織布での変位量は同一荷重に対して若干大きくなる傾向がみられた。しかしながら、ナイロン織布Cの場合の変位量は、アラミド織布に比較的近い測定値を示した。

(2)長期荷重による変位量の変動は、ナイロン織布での変位量は初期こそ大きいですが、その後の変位量の伸びはアラミド織布の場合と大きく違わないため、十分注意を払えば使用できるものとする。

(3)膨張圧の安定を図るため、炭酸カルシウムおよび収縮低減剤の添加は極めて効果的であるものとする。

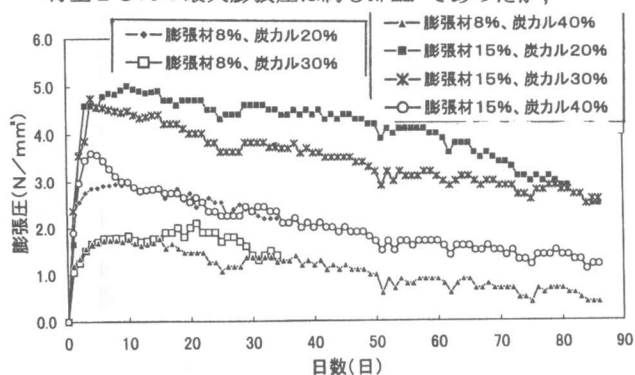


図-8 膨張圧と経過日数(シリーズ4, 収縮低減剤無し)

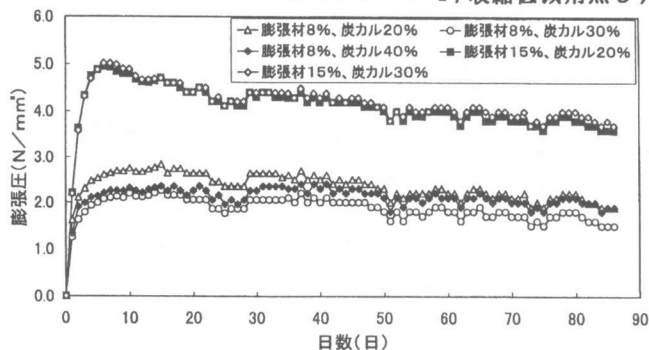


図-9 膨張圧と経過日数(シリーズ4, 収縮低減剤有り)

参考文献

- 1) 高山俊一・阿比留孝行・佐々木孝一・田村富雄：ナイロン織布を用いたハイバックアンカーの適用性，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.19, No.1, pp.1219~1224, 1997.6
- 2) 高山俊一・出光隆・杉浦友彦・阿比留孝行：アラミド繊維を用いて補強したグラウンドアンカーの引抜き耐力，平成3年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集，pp.836~837, 1992.3
- 3) 原田哲夫学位論文：静的破碎剤を用いたコンクリート構造物の解体に関する基礎的研究，東京大学提出，p.14, 1988.10