

日本道路公団 広島建設局

篠原勝三

前田建設工業(株) 技術研究所 正会員

伊藤雅夫

"

"

"

○平野富佐夫

1. まるがき

中国自動車道大佐工事の泥岩は、一般に地山状態での安定性は比較的高いが、これを圧制し塊状に分解することによって風化を助長し、特に水浸による強度の低下は著しく工用上始ましくない材料といえる。また、この泥岩は膨潤性の高い粘土鉱物であるモンモリロナイトを含み水浸による風化速度や、表面の粘土化作用は他の泥岩に比べて速い。

そこで今回は水浸による強度低下の著しい泥岩について種々の試験を行ない、その性状を把握するとともに、この泥岩に混合割合2%、4%および6%の消石灰を混入し、その改良効果を検討した。

2. 泥岩の力学的性質

試験に供した泥岩の性状を表-1に示す。

表-1

比重	2.689	液性限界	36.7%
積比重	2.304	塑性限界	19.3%
吸水量	5.47%	塑性指数	17.4

このような性状を持つ泥岩の地山より直径35cm高さ7cmのテストピースを取り、水浸および30℃で乾燥による含水比変化と一軸圧縮強度との関係を検討した。その結果を図-1に示す。

この泥岩の特質として、水浸過程では、水浸時間にあまり影響を受けず、ほぼ一定の含水比と強度が得られているが乾燥過程では、含水比の低下に対して急激なる強度の増加が見られる。

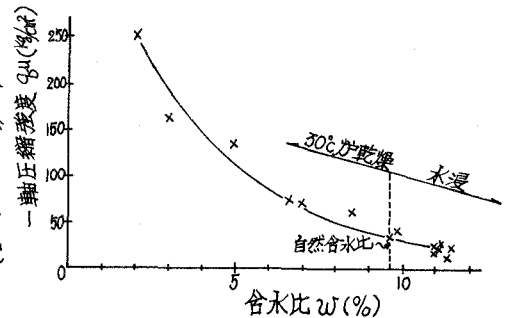


図-1 泥岩のW-quの関係

また、泥岩の乾湿繰り返しによる風化耐久性を調べるために約20cm×30cm×15cmの試料を24時間乾燥(60℃と110℃の2種類)後、24時間水浸という作業(これを1サイクルとする。)を繰り返し行ない、5サイクル終了するまでの様子、泥岩の性状の変化を見るために5サイクル終了後、コンシステンシー試験を行なった。風化耐久性は110℃で乾燥した場合、1サイクル終了した時点でクラックが入り崩壊し始め、60℃で乾燥した場合、若干遅れて2サイクル終了した時点で崩壊している。

る、4サイクルになると、初めの形状が想像できない程に細粒化し粘土化している。

なお、5サイクル終了後のコンシステンシーは、液性限界 $w_L = 26.9\%$ 、塑性限界 $w_p = 16.0\%$ および塑性指数 $I_p = 10.9$ と、初めの泥岩の性状より低下し、特に塑性領域の低下が著しい。

この泥岩を盛土材料として使用した場合、どのような傾向を示すかを検討するために泥岩を塊状にし、締め固めた供試体の一軸圧縮試験、C.B.R試験、乾湿繰り返しによるC.B.R試験および浸透能試験を行なった。

最大粒径4.75mm、シルト以下9.9%および均等係数18.8の試料を用いて、一軸圧縮試験(供試体寸法は直径5cm、高さ10cmである。)を行ない最適含水比($w_{opt} = 12.7\%$)と最大乾燥密度($\gamma_{dmax} = 1.905 \text{ g/cm}^3$)とを求めた。同時に、締め固めた泥岩の水浸による強度の低下を見るため、最大一軸圧縮強度($q_{umax} = 8.2 \text{ kg/cm}^2$)が得られた含水比($w_{gmax} = 10.8\%$)で締め固め、水浸1日、2日および4日の一軸圧縮強度を求めた。(図-2)

水浸1日で一軸圧縮強度は非水浸に比べ約1/5に減少し、それ以後水浸させても余り減少していない。

なお、供試体の水浸にあたっては、そのまま水浸させるとスレーキングが生じるので上下に厚さ2cmのポーラスストーンをのせて、三軸圧縮試験を用いるゴムスリーブをかぶせて水浸させた。

次に、最大粒径38.1mm、シルト以下4.6%および均等係数50の試料を用いて、C.B.R試験（供試体寸法は直径15cm、高さ12.5cmである。）を行なった。非水浸の場合、修正C.B.R値は15.5%と大きな値であるが、水浸すると急激に修正C.B.R値は減少し、1日水浸で修正C.B.R値5%と非水浸の1/3に減少し、それ以後水浸しても余り減少せず、4日水浸で2.0%となっている。（図-2）

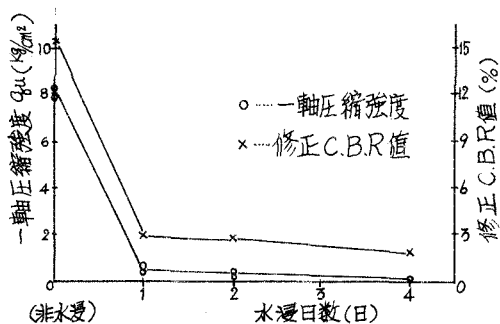


図-2

なお、 $\phi 15$ cmと $\phi 5$ cmのモールドを用いて締め固めを行なったが、各々の締め固め条件は表-2に示すとおりである。また、最大粒径38.1mmの粒度分布と最大粒径4.76mmの粒度分布とを比較すると、粒径4.76mm以下の粒度分布は、同じような分布を示している。

表-2

供試体寸法	試料最大粒径	ラバー重量	ラバー高	締め固め回数	締め固めエネルギー
$\phi 5$ cm, H=10 cm	4.76 mm	1.5 kg	25 cm	3層-44%	25.22 cm ² /cm ²
$\phi 15$ cm, H=12.5 cm	38.1 mm	4.5 kg	45 cm	3層-92%	25.21 cm ² /cm ²

また、泥岩の乾湿繰り返しによる強度変化を見るために、最適含水比に調整した試料を3層92回締め固め後、4日水浸させ（最悪の気候を想定）、その後モールドごと30℃で24時間が乾燥（気候の回復を想定）させて、また4日間水浸養生を行なう。（これを1サイクルとする。）1サイクル、3サイクルおよび5サイクル終了後、各々水浸後と乾燥後にそれぞれ貫入試験を行ないC.B.R値を求めた。その結果を図-3に示す。

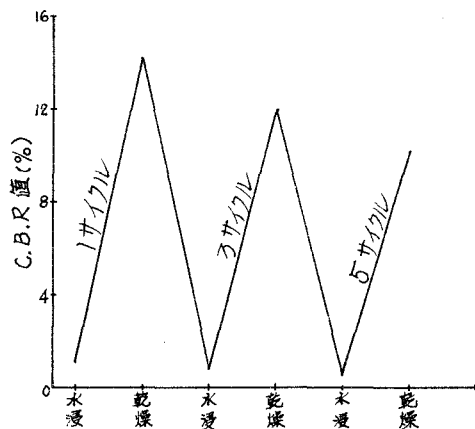


図-3

傾向として、サイクル数の増加にしたがい、水浸後、乾燥後ともにC.B.R値は減少している。しかし同一サイクルにおいて水浸後のC.B.R値と乾燥後のC.B.R値とを比較して見ると、それぞれ強度の回復が見られるものの、サイクル数の増加にしたがい漸減し、乾湿繰り返しによる強度低下は避けられない。

また、乾燥重量に対する含水量の割合（吸水量とする。）を1、3および5サイクルについて見ると、サイクル数の増加にしたがい吸水量も大きくなっている。（図-4）

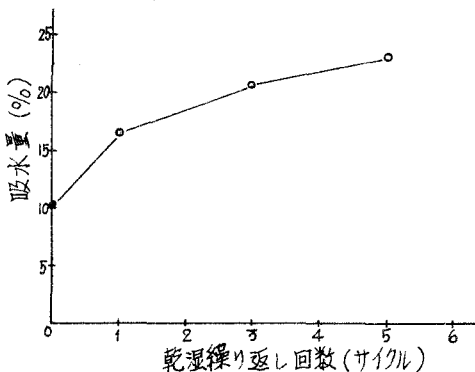


図-4

次に、締め固められた泥岩の水による浸透性を調べるために泥のような試験を行なった。

$\phi 15$ cmのモールドにスパーサーデスクを入れ、その上へ口紙を敷き試料を入れ締め固める。締め固め後、底部に結合し、モールド内に水を満たす。

水を満たして1日、2日、4日、8日および18日後にモールド内の水を取り出し、モールド内（上、中および下部分の3段階）の試料のコーン指数と含水比を測定した。結果を図-5に示す。

1日経過すると、試料上部は含水比が最初の約半と極端に増大し、ゴーン指数も最初の1/80に減少し、それ以後の変化はあまりない。試料の中部、下部についても同じような傾向が見られるが、水の浸透による強度の低下の著しいのは上部の5cm程度で、それより下部ではある程度の強度を持っている。

ろ. 消石灰安定処理

大佐工事の泥岩について、各種の試験結果より乾湿繰り返しによる風化が著しく、また、吸水によって力学的性質が著しく劣化することが分かった。そこで泥岩の自然含水比が高いという理由より、安定処理材として消石灰($\text{Ca}(\text{OH})_2$)を使用し、水浸時における泥岩の強度低下が阻止できるかどうかを検討した。

なお、消石灰の混合割合は泥岩の乾燥重量に対して2%、4%および6%の3段階である。

また、試料調整は、混合後1昼夜放置し泥岩と消石灰が十分になじむようにした。表-ろは泥岩と消石灰との混合による含水比の変化を示したものである。混合直後と混合1日後との含水比を比較すると、混合1日後の含水比が少なくなり、計算による含水比に近づいている。なお、計算による含水比とは、消石灰の含水比を1.1%として計算したものである。

消石灰混入による処理土のコンシステンシーを図-6に示す。一般にいわれている混合割合の増加に対して、液性限界は減少し、塑性限界は増加し、塑性指数は減少するという傾向が、この処理土においても見られている。

このような性質を持つ消石灰処理土を盛土材料として使用した場合、水浸に対して、どのような傾向を示すかを検討するために締め固め試験、C.B.R試験および一軸圧縮試験を行った。

最大粒径 38.1 mmの試料を用いて締め固めを行ない、含水比と乾燥密度の関係を図-7に示す。

各混合割合における最大乾燥密度($\gamma_{d\max}$)と最適含水比(w_{opt})は、未処理で $\gamma_{d\max}=2.015 \text{ g/cm}^3$ 、 $w_{opt}=8.5\%$ 、2%で $\gamma_{d\max}=1.925 \text{ g/cm}^3$ 、 $w_{opt}=12.5\%$ 、4%で $\gamma_{d\max}=1.885 \text{ g/cm}^3$ 、 $w_{opt}=12.5\%$ および6%で $\gamma_{d\max}=1.870 \text{ g/cm}^3$ 、 $w_{opt}=12.6\%$ であり、一般にいわれているように最大乾燥密度と最適含水比は、混合割合の増加に対して、前者は小さくなり、後者は大きくなるという傾向が見られる。

次に、各混合割合における最適含水比にてC.B.R試験を行ない、水浸1日、2日および4日の修正C.B.R値を図-8に示す。

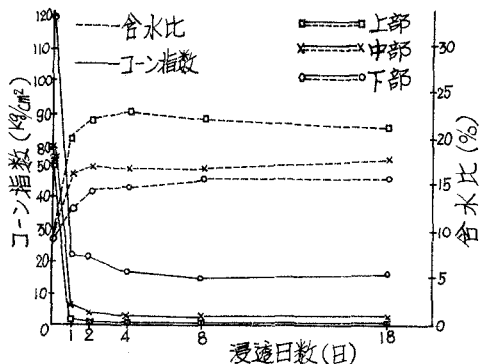


図-5

表-ろ

項目	混合割合 (%)	2% 混合			4% 混合			6% 混合		
混合前 (%)	4.56	10.64	15.36	4.56	10.64	15.36	4.56	10.64	15.36	
混合直後 (%)	4.58	10.70	15.10	4.49	10.29	14.97	4.20	10.40	14.18	
混合1日後 (%)	4.44	10.43	14.96	4.48	10.29	14.74	4.41	10.22	14.33	
計算による含水比 (%)	4.49	10.45	15.08	4.42	10.27	14.81	4.36	10.10	14.55	

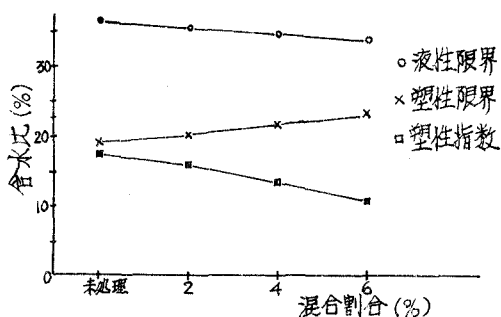


図-6

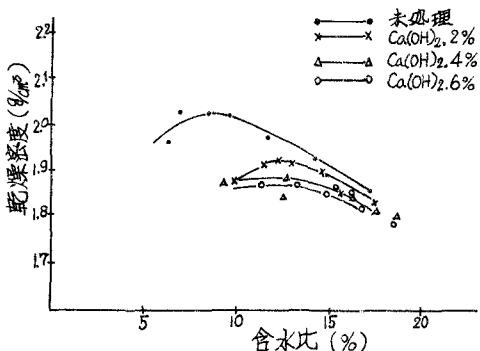


図-7

修正C.B.R値は、混合割合の増加に対して改良効果が見られ、未処理4日水浸の修正C.B.R値(約2%)と各混合割合の4日水浸修正C.B.R値とを比較すると、2%で2.5倍、4%で3.5倍および6%で4倍の修正C.B.R値になっている。

一方、非水浸と水浸1日との修正C.B.R値の減少割合についても、改良効果が見られ、未処理で $\frac{1}{5}$ の減少であったものが2%で $\frac{1}{3}$ 、4%で $\frac{1}{2.5}$ および6%で $\frac{1}{2}$ と減少幅が小さくなっている。また、水浸1日後の水浸による修正C.B.R値の減少は、各混合割合ともあまり見られない。

次に、最大粒径4.75mmの試料を用い水浸による処理土の一軸圧縮強度を見た。

未処理の場合と同様に最大一軸圧縮強度(2%で 8.6 kg/cm^2 、4%で 9.3 kg/cm^2 および6%で 10.3 kg/cm^2)が得られた含水比(2%で10.8%、4%で11.0%および6%で10.5%)で締め固め、水浸1日、2日および4日について調べて見た。その結果を図-9に示す。

未処理の4日水浸における一軸圧縮強度は約 0.18 kg/cm^2 であり、他の処理土の4日水浸と比較すると改良効果が見られ、混合割合2%で1.5倍、4%で1.7倍および6%で2.1倍と4日水浸の一軸圧縮強度は増えている。

一方、非水浸と水浸1日との一軸圧縮強度の減少割合についても、改良効果が見られ、未処理で $\frac{1}{25}$ であったものが2%で $\frac{1}{20}$ 、4%で $\frac{1}{16}$ および6%で $\frac{1}{14}$ と減少幅が小さくなっている。また、水浸1日以後の水浸による一軸圧縮強度の減少は、各混合割合ともあまり見られない。

4. あとがき

以上のような各種の試験結果より当工事の泥岩について次のようなことがいえる。

1) 地山状態で泥岩の性状は、水浸によっても強度の低下は小さく比較的稳定しているが「水浸→乾燥」の乾湿繰り返し状態では相当な風化作用を受け極弱化する。

2) 盛土材料としての泥岩について見ると、地山より掘削、運搬、敷均しおよび転圧の土工作业によって相当に泥岩が破碎され細粒化され、水浸による強度低下も、水浸1日で強度は極端に低下し(一軸圧縮強度で $\frac{1}{25}$ 、修正C.B.R値で $\frac{1}{5}$ に減少)それ以後の水浸日数による強度低下はわずかである。

3) 水浸による影響は、上層部のみ含水比が高くなり、極端に軟弱化する傾向が見られるが、下層部においては、あまり強度の低下は見られない。

4) 水浸過程においては、表層部の軟弱化に伴って一時的に強度は低下をきたすのであるが、気象条件が回復した場合の強度回復を乾湿繰り返し試験の乾燥過程で見ると、かなり強度が回復する。

5) 泥岩の消石灰安定処理はコンシステンシーが改善され、水に対する抵抗性も増え強度も増加する。この増加の割合も混合割合の増加に従って大きくなる。

6) 消石灰処理土においても非水浸と水浸1日との強度の低下が見られ(一軸圧縮強度では2%で $\frac{1}{20}$ 、4%で $\frac{1}{16}$ および6%で $\frac{1}{14}$ 、修正C.B.R値では2%で $\frac{1}{3}$ 、4%で $\frac{1}{2.5}$ および6%で $\frac{1}{2}$ に減少)水浸に対してもしもい性状が残っている。

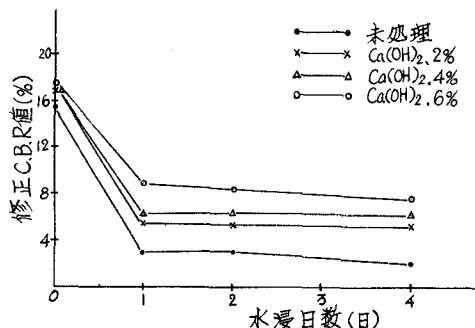


図-8

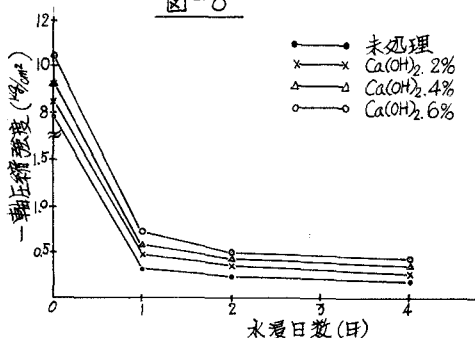


図-9