

14.3 台形 CSG ダムの材料特性と設計方法に関する研究

研究予算：運営費交付金（治水勘定）

研究期間：平 18～平 22

担当チーム：ダム構造物チーム

研究担当者：山口嘉一、岩下友也、小堀俊秀、
佐々木晋

【要旨】

環境への負荷軽減、コスト縮減、材料の有効利用の観点から、ダム建設における CSG（Cemented Sand and Gravel）の本格的な導入が望まれている。CSG はコンクリートに比較し、低強度で品質のばらつきが大きいという特徴を有するため、室内試験や現場試験により、材料特性に関する検討が進められるとともに、締切堤などのダム関連工事においては施工事例が増加してきている。しかし、施工事例に対するフィードバック研究が不足しているため、CSG の合理的な配合設計・品質管理方法について体系的な検討がなされていないのが現状である。また、CSG の繰返し載荷時の強度・変形特性、クリープ特性などは十分に解明されていないため、これらについての検討を進め台形 CSG ダムの長期信頼性を保証する方法を開発する必要がある。さらに、CSG の最大の特徴である、材料強度のばらつきを考慮した重力式ダムの設計方法を開発する必要がある。

平成 19 年度は、長期信頼性を考慮した CSG の強度指標を提案することを目的とし、CSG の繰返し載荷時・長期載荷時の強度・変形特性を把握するために室内実験を行った。

キーワード：ダム、CSG、長期載荷試験、繰返し載荷試験

1. はじめに

台形 CSG（Cemented Sand and Gravel）ダムは堤体内に局所的に大きな応力が発生することなく、特に地震時に発生する引張応力を大幅に低減できる台形ダムの設計手法と、従来のダムコンクリートでは使用することができなかった低品質な材料を分級することなく利用する CSG 工法を組み合わせることにより「設計の合理化」、「材料の合理化」、「施工の合理化」の 3 つの合理化を同時に達成する新形式のダムである。

CSG は現地発生材に必要な最小限の処理を施すことで作製したセメント硬化体であるため、従来のダムコンクリートに比較して品質のばらつきが大きく、かつ CSG 母材の違いによりそのばらつき特性が大きく異なるという特徴を有している。このため、室内試験や現場試験により、材料特性に関する検討が進められるとともに、ダムの関連工事においては、締切堤などの施工事例が増加してきている。しかし、施工事例に対するフィードバック研究が不足しているため、CSG の合理的な配合設計・品質管理方法について体系的な検討がなされていないのが現状である。また、CSG の繰返し載荷時の強度・変形特性、クリープ特性などは十分に解明されていないため、これらについての検討を進

め台形 CSG ダムの長期信頼性を保証する方法を開発する必要がある。

平成 19 年度は、長期信頼性を考慮した CSG 強度指標を提案することを目的とし、CSG の繰返し載荷時・長期載荷時の強度・変形特性を把握するために室内実験を行った。

2. 繰返し載荷試験^{1,2)}

2.1 試験目的

平成 18 年度は材齢 28 日の供試体を用いた繰返し載荷試験により CSG の繰返し載荷時強度・変形特性の把握を行った。平成 19 年度は、通常ダムコンクリートの設計基準強度の基本となる材齢 91 日に達した試験体を用いて繰返し載荷試験を行い、材齢 28 日の試験結果との材齢による比較を行った。

2.1 使用材料及び配合条件

本研究は、土木研究所ダム構造物チームの既往の研究成果³⁾により、CSG 母材に含まれる粒径 0.075mm 以下の微粒分含有率（主に粘土分。以下同様。）が強度・変形特性に与える影響が大きいことが判明していることから、微粒分含有量を変化させた 2 種類の CSG と、比較対照として微粒分を含有しない RCD 材料を用いた供

試体を準備し、繰返し載荷試験を行った。CSG及びRCDの使用材料と材料物性を表-1 (1) , 1 (2) に示す。ここで材料とした母材は微粒分の質の影響を明確にするため、コンクリート骨材となりうる堅固な工場製品を用いた。なお、ここでは平成 18 年度実施した実験と可能な限り同条件となるよう材料の購入先は平成 18 年度と同一箇所とした。使用材料のCSGの母材粒度分布を図-1 に、RCDの粗骨材の配合比率を表-2 に示す。なお、CSG母材粒度分布の粒径 5mm以上の粒度分布は、CSGを用いて築堤された構造物のCSG材の粒径加積曲線を参考にした。粒径 0.075mm以下の微粒分については、6%、10%と設定した。RCDの使用材料のセメント、粗骨材、細骨材はCSGと同様のものを用いた。

表-1 (1) CSG 及び RCD の使用材料及び物性値 (H18)

セメント	普通ポルトランドセメント
混和材	なし
母材	80-40mm(表乾密度 2.58g/cm ³ 吸水率 1.47%) 40-20mm(表乾密度 2.59g/cm ³ 吸水率 1.80%) 20-10mm(表乾密度 2.60g/cm ³ 吸水率 1.90%) 10-05mm(表乾密度 2.60g/cm ³ 吸水率 1.90%) 細砂 5mm以下(表乾密度 2.62 g/ m ³ 吸水率 1.9%) 藤の森粘土(塑性指数 29.9 土粒子密度 2.67g / cm ³) 石粉(土粒子密度 2.73g/cm ³)

表-1 (2) CSG 及び RCD の使用材料及び物性値(H19)

セメント	普通ポルトランドセメント
混和材	なし
母材	80-40mm(表乾密度 2.60g/cm ³ 吸水率 0.80%) 40-20mm(表乾密度 2.59g/cm ³ 吸水率 1.30%) 20-10mm(表乾密度 2.59g/cm ³ 吸水率 1.42%) 10-05mm(表乾密度 2.59g/cm ³ 吸水率 1.42%) 細砂 5mm以下(表乾密度 2.58 g/ m ³ 吸水率 1.42%) 藤の森粘土(塑性指数 29.9 土粒子密度 2.67g / cm ³) フライアッシュ 密度 2.31g/cm ³

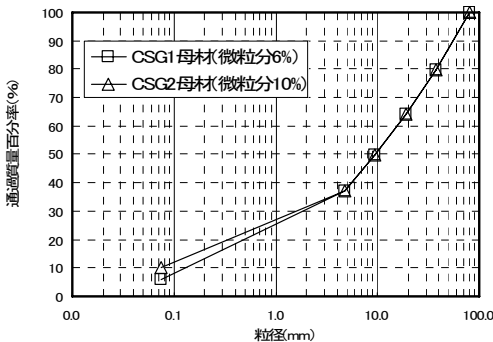


図-1 CSG の母材粒度分布

表-2 RCD の粗骨材の配合比率(質量比率)

骨材粒径	比率 (%)
80-40mm	35
40-20mm	35
20-5mm	30

CSGとRCDの供試体の配合をそれぞれ表-3 と表-4 に示す。単位セメント量はCSG、RCDともに 80kg/m³と固定し、各材料において個別に単位水量を設定した。なお、平成 18 年度のRCDでは混和材が強度に及ぼす影響を排するため石粉を用いたが平成 19 年度は、CSGと通常のRCDとの繰返し載荷時の強度・変形特性を把握することを目的とし、混和材としてフライアッシュを用いた供試体を作製した。

2.3 試験方法

試験の手順は以下のとおりである。まず、繰返し載荷試験用の供試体と同一の配合で作製した供試体に対

表-3 CSG 供試体の配合

項 目	CSG 1	CSG2
供 試 体 寸 法	φ150mm×300mm	
養 生 方 法	封緘養生	
養 生 日 数	91 日	
最 大 粒 径	40mm (最大粒径 80mm の試料ウェットスリーピングしたもの)	
微 粒 分 含 有 量 (%)	6	10
単 位 セ メ ン ト 量	80kg/m ³	
単 位 水 量 (k g / m ³)	120	140

表-4 RCD 供試体の配合

項 目		RCD
供 試 体 寸 法		φ150mm×300mm
養 生 方 法		封緘養生
養 生 日 数		91 日
粗骨材最大寸法 (mm)		40mm (最大粒径 80mm の試料ウェットスリーピングしたもの)
水セメント比 (%)		121
細骨材率 s/a (%)		31
単位量 (kg/m ³)	水 W	97
	セメント C	80
	混和材 (石粉)	20
	細骨材 S	694
	粗骨材 G	1532
混和剤 (AE 減水剤)		0.25

して、一軸圧縮試験を行い、応力-ひずみ関係を計測

した。各配合で3供試体ずつの試験を行い、それらの平均値としてピーク強度 σ_p 、弾性領域強度 σ_e を設定した。なお、通常、RCDでは弾性領域強度という概念はないが、CSGと同様に応力-ひずみ曲線が直線と近似できる上限値の応力値をもって弾性領域強度 σ_e を規定し、CSGと比較することとした。図-2に各材齢におけるCSG1、CSG2、RCDの代表的な応力-ひずみ曲線を示し、表-5に材齢の違いに着目して整理した一軸圧縮試験の結果の平均値を示す。また、平成19年度に91日材齢供試体と同時期に同材料で作製した供試体の28日材齢時における一軸圧縮試験結果を表-6に示す。

繰返し載荷試験に関しては、まず、本試験実施前に、弾性領域強度内（弾性領域強度の30～50%）程度で1往復の試験載荷を実施し、載荷速度、除荷速度の設定が正しく行われていることを確認した。

応力載荷のパターンは、図-3に示したそれぞれ σ_{max} を弾性領域強度 σ_e の30%、50%、70%とし、 σ_{min} は弾性領域強度 σ_e の10%とした3パターンとし、400回の繰返し載荷を実施した。なお、試験数は各載荷パターンで各配合2供試体とした。

繰返し載荷試験は、写真-1に示す変位速度制御方式の一軸圧縮試験機を用いて行った。表-7に一軸圧縮試験機の仕様を示す。

載荷・除荷速度は、ともに $0.2 \sim 0.3 \text{ N/(mm}^2 \cdot \text{min)}$ とし、荷重はロードセルにより、また、軸ひずみはひずみゲージ（供試体側面の中心付近に対方向2箇所設置）により測定した。

表-5 一軸圧縮強度試験結果(3供試体平均)

(材齢の違いに着目)

項 目	CSG 1	CSG2	RCD
弾性領域強度 σ_e (N/mm ²)	3.1	1.7	2.9
	9.8	7.6	10.3
ピーク強度 σ_p (N/mm ²)	6.1	2.9	7.6
	15.2	11.1	14.9
σ_p / σ_e	1.9	1.7	2.6
	1.6	1.5	1.4
静的弾性係数 (N/mm ²)	5,500	2,400	3,600
	10,200	11,100	9100
ピーク強度時のひずみ (μ)	3,693	4,241	6,820
	3,531	2,078	4,684

上段：28日材齢供試体による試験結果 (H18 作製)

下段：91日材齢供試体による試験結果 (H19 作製)

表-6 一軸圧縮強度試験結果(3供試体平均)

(供試体作製年度の違いに着目)

項 目	CSG 1	CSG2	RCD
弾性領域強度 σ_e (N/mm ²)	3.1	1.7	2.9
	5.3	2.6	5.6
ピーク強度 σ_p (N/mm ²)	6.1	2.9	7.6
	6.4	4.2	10.8
σ_p / σ_e	1.9	1.7	2.6
	1.2	1.6	1.9
静的弾性係数 (N/mm ²)	5,500	2,400	3,600
	6,217	4,200	9,983
ピーク強度時のひずみ (μ)	3,693	4,241	6,820
	1,981	3,695	5,149

上段：28日材齢供試体による試験結果 (H18 作製)

下段：91日材齢供試体と同時期に作製した供試体の28日材齢時における試験結果 (H19 作製)

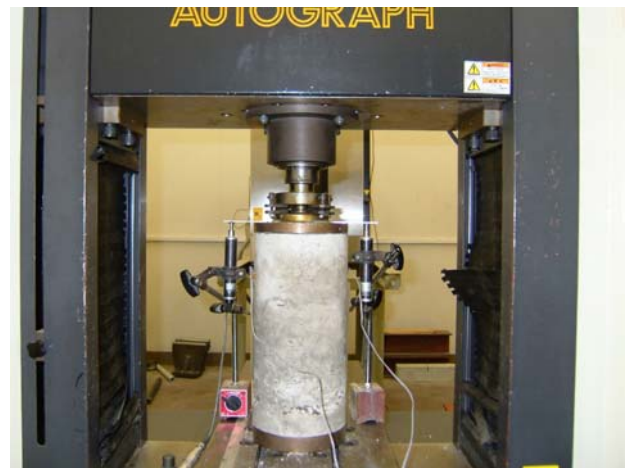


写真-1 繰返し載荷試験の供試体状況

表-7 繰返し載荷試験機仕様一覧

負荷方式	コンピュータコントロールシステムによる高精度定速ひずみ方式引張・圧縮両振り負荷フレーム	
秤量	0.01N～250KN	
計測制御方式	コンピュータ計測制御方式	
クロスヘッド速度と許容負荷	250mm/min 以下	250KN
	250mm/min 以上	50KN
クロスヘッド速度	0.1～500mm/min	
クロスヘッド速度精度	±0.1%以内	
荷重計測増幅器	測定倍率	1, 2, 5, 10, 20, 50
	電気式荷重校正装置	コンピュータによる自動校正装置
	自動バランスコントロール	コンピュータによる自動バランス方式

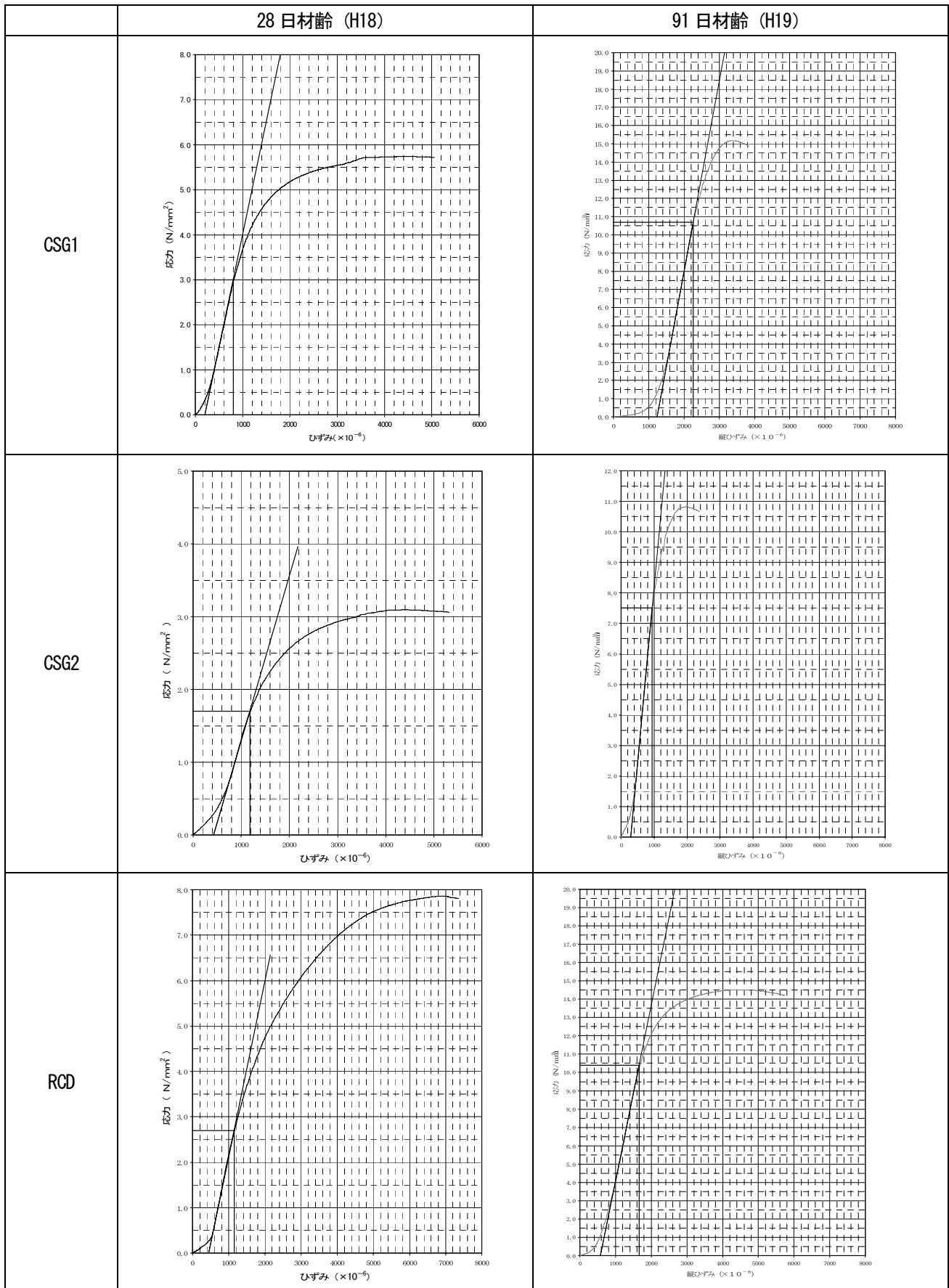


図-2 応力～ひずみ曲線の例

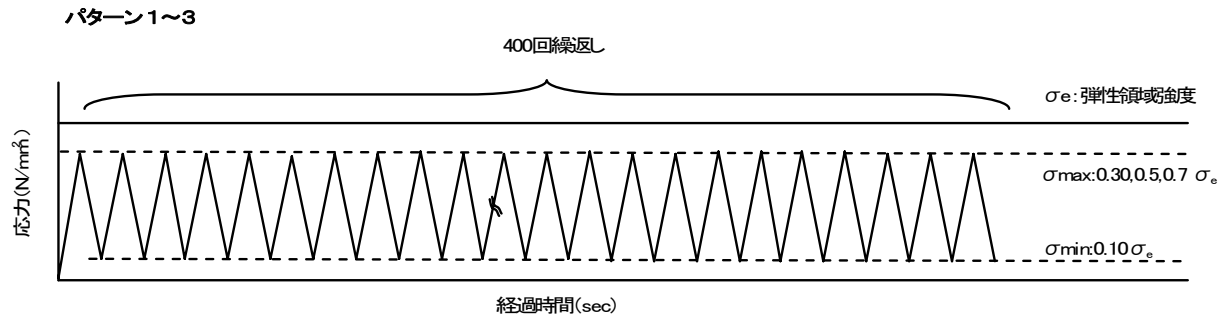


図-3 繰返し载荷パターン

2.4 繰返し载荷試験結果

材齢 28 日と材齢 91 日における試験結果から最大载荷応力と除荷後の残留ひずみの関係を図-4 にまとめる。まず、除荷後の残留ひずみは、材齢を問わず RCD が最も小さいことがわかる。CSG では 28 日材齢では、载荷する荷重が大きくなるほど、微粒分の多い配合である CSG2 の方が CSG 1 と比較し残留ひずみが大きくなる傾向が見ることができるが、91 日材齢ではこのような傾向は見られない。残留ひずみの値については、材齢、配合を問わず载荷する荷重の増大に伴い、大きな残留ひずみを示している。また、CSG 1 の 28 日材齢と 91 日材齢の残留ひずみの比較から、载荷応力が同等であれば、若材齢の残留ひずみの方が大きいと言える。

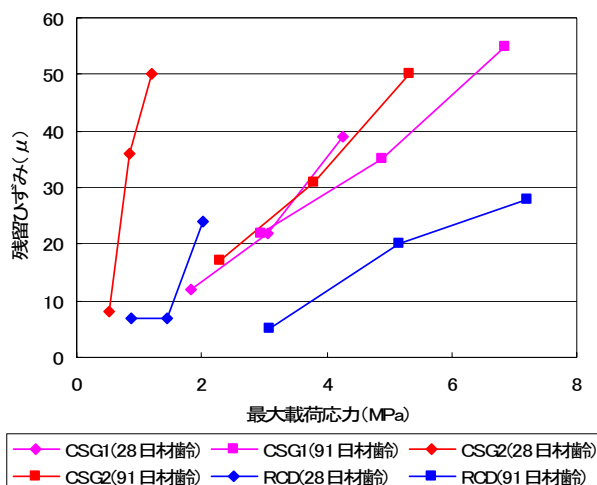


図-4 最大载荷応力と残留ひずみの関係

次に図-5~7 に各配合における材齢 28 日と 91 日の 100, 200, 300, 400 回目のサイクルで発生しているひずみ量と最大载荷応力の関係を示す。これらの図からは、まず、材齢を問わず最大载荷応力が大きくなると、それに伴い発生しているひずみ量が大きくなっていることがわかる。また、ひずみ量は、100 回目のサイクルと 400 回目のサイクルでは、载荷応力の弾性領域強度比率が高くなるほど（弾性領域強度に近い荷重となるほど）100 回目のサイクルと 400 回目のサイクルで生じているひずみ量の差が大きくなっていることがわかる。サイクル毎に計測されたひずみを材齢で比較すると同等レベルの载荷重のもとでは材齢が大きい程、ひずみは小さいと推察される。

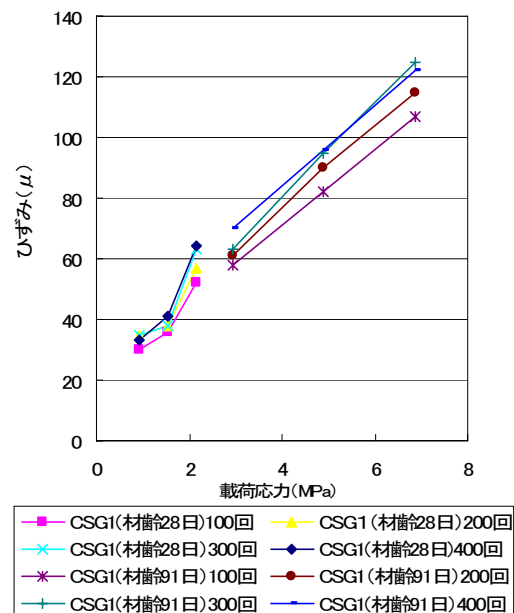


図-5 最大载荷応力とひずみの関係 (CSG1)

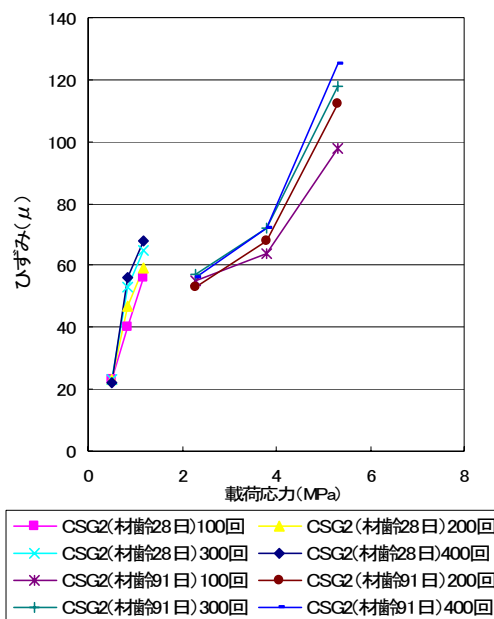


図-6 最大载荷応力とひずみの関係 (CSG2)

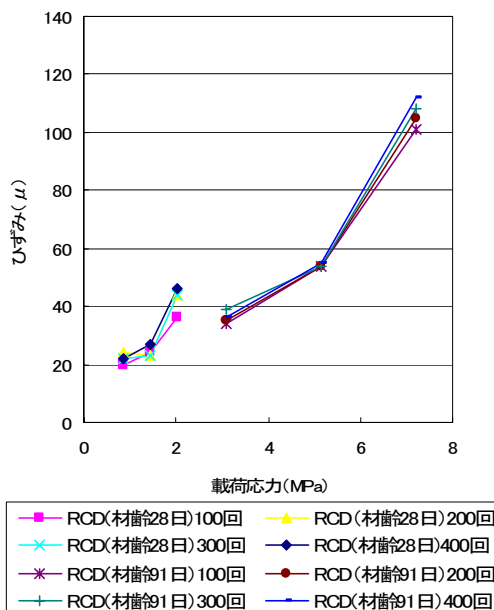


図-7 最大载荷応力とひずみの関係 (RCD)

まとめ

- ① 繰返し载荷試験の除荷後の残留ひずみは、材齢を問わず RCD が最も小さい。
- ② CSG では 28 日材齢では、载荷する荷重が大きくなるほど、微粒分の多い配合である CSG2 の方が CSG1 と比較し残留ひずみが大きくなる傾向が見られるが、91 日材齢ではこのような傾向は見られない。

- ③ 残留ひずみの値については、材齢、配合を問わず 载荷する荷重の増大に伴い、大きくなる傾向を示す。また、CSG では、若材齢時において 载荷応力あたりの残留ひずみが大きい。
- ④ 繰返し载荷試験のサイクル毎のひずみは材齢を問わず最大 载荷応力が大きくなるに従い大きくなる。また、ひずみ量は、100 回目のサイクルと 400 回目のサイクルでは、 载荷応力の弾性領域強度比率が高くなるほど（弾性領域強度に近い荷重となるほど）100 回目のサイクルと 400 回目のサイクルで生じているひずみ量の差が大きくなっている。
- ⑤ サイクル毎に計測されたひずみを材齢で比較すると、同等レベルの 载荷重のもとでは材齢が大きい程ひずみが小さいと推察される。

3. クリープ試験

3.1 使用材料及び配合条件

使用材料及び配合条件は 2 章と同様な条件とし、微粒分含有量を変化させた 2 種類の CSG と、比較対照とした RCD 配合による 3 種類の供試体を用いた。試験時材齢は 28 日と 91 日とした。配合の詳細は 2 章で述べた通りである。

3.2 試験方法

クリープ試験は、PC 鋼棒式⁴⁾を採用し(図-8)、温度 $20 \pm 3^\circ\text{C}$ 、湿度 $60 \pm 5\%$ の恒温高湿室の気中乾燥下で行った。 载荷荷重は、弾性領域強度 σ_e の 30%、50%、70% の 3 パターンを設定した。弾性領域強度 σ_e は 2 章同様に一軸圧縮試験により求めた。一軸圧縮試験の結果は表-5 に示したとおりである。測定は、供試体中央両面に、標点間距離が 100mm となるようにコンタクトチップを貼り、コンタクトゲージを用いて測定した。 载荷にあたっては、供試体に 载荷荷重が正しく作用しているか確かめるため、予備 载荷として 1/2 の 载荷応力を加え、一旦除荷した後、本 载荷を行った。予備 载荷は、 载荷応力の 1/2 を加えたとき、2 測点の 2 回計測したひずみの最大値と最小値のひずみの差が最小値の 10% 未満であれば、荷重が正しく作用しているものとみなした。

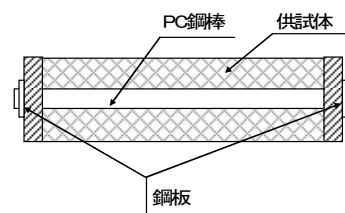


図-8 クリープ試験のイメージ

試験は各載荷パターンで各配合 2 供試体実施した。また、各配合では、クリープを載荷しない乾燥収縮の計測を実施し、クリープによるひずみから乾燥収縮によるひずみを差し引いた値をクリープひずみとした。なお、計測期間は、全条件で一般的にクリープを計測する期間である 1 年間の計測とするが、現時点では、28 日材齢については 1 年間の計測が完了し、91 日材齢のものについては、CSG1 と RCD は 120 日、CSG2 については、240 日までの計測結果となっている。しかし、CSG2 の 28 日材齢時のクリープ試験の計測結果は、ばらつきが大きかったため本報告では除外している。

3.3 クリープ試験結果

クリープ試験の結果を図-9 に、クリープひずみを載荷した荷重で除した単位荷重あたりのクリープ（以下、単位クリープと呼ぶ。）を図-10 に示す。

図-9 の 28 日材齢の試験結果に着目すると、クリープひずみは、RCD が小さく、CSG では、載荷した荷重によりばらつきはあるが、RCD の 2 倍程度のクリープひずみを計測している。また、クリープひずみは RCD、CSG 問わずに載荷重の増加に従い増加していることがわかる。次に 91 日材齢に着目すると、RCD におけるクリープひずみが最も小さい値を示していることと配合を問わず載荷重の増加に従い、ひずみ量も増加していることは 28 日材齢の場合と同様の傾向である。CSG では微粒分含有量の差により大きな違いが表われている。つまり、微粒分含有量の多い CSG2 のクリープひずみは、粘土の含有量の少ない CSG1 より大きな値を示し、1.5 倍程度の値となっている。次に材齢による比較を見ると、相対的に材齢の長い供試体を用いた試験値の方が大きな値を示している。これは、2 章の繰り返し試験における 100 回ごとの載荷で生じているひずみが材齢の大きいものの方が大きかったことと同様の傾向であるが、これは、これは載荷した荷重が弾性領域強度 σ_e に対する一定比率で設定しているため、材齢を経て強度が発現した分、絶対値として大きな荷重を載荷したことが大きな要因と考える。図-9 の単位クリープでは、まず、28 日材齢供試体では単位クリープにおいても、CSG と RCD の比較では CSG は RCD の 2 倍程度となっていることがわかる。次に 91 日材齢の単位クリープからは、まず 28 日材齢供試体の単位クリープと比較して全配合とも大きなばらつきがないことがわかる。これは材齢を経て硬化が進んだことにより、弾性体としての特徴がより顕著になったた

めと考えられる。配合別の比較からは CSG では微粒分含有率が多い CSG2 配合によるものが最も大きく、RCD 配合によるものが最も小さいことがわかる。CSG1、2 のクリープひずみは載荷の初期段階で大きく伸びていることがわかる。CSG のクリープ試験では、載荷軸方向と垂直方向へのひずみや、クリープ載荷時の供試体へのなじみの影響がある可能性もある。その影響度合を考慮した実験の改良は課題である。材齢の違いからは、単位クリープでは、91 日材齢の供試体の方が小さい値を示している。これは、同一のクリープ荷重の下では材齢が大きくなるほどクリープひずみが小さくなる傾向がわかる。

3.3 まとめ

- ・ クリープひずみは 91 日材齢による供試体では RCD が最も小さく、CSG では微粒分含有量の少ない配合の試験結果の方が小さいという傾向が表われた。しかし、28 日材齢の供試体による試験では、RCD は同様の傾向を示したが、CSG では微粒分含有量の多い CSG2 配合における試験結果のばらつきが大きかったためこの傾向を確認することはできなかった。
- ・ 単位クリープは、材齢を経た供試体を用いた方がばらつきは小さく、またその値も小さくなる。また、単位クリープについては、28 日材齢供試体のクリープひずみで傾向を見ることができなかった微粒分含有量による違いを 91 日材齢供試体において見いだすことができ、微粒分含有量が多い配合条件の方が大きなクリープひずみが生じていることがわかった。
- ・ CSG1、2 のクリープひずみは載荷の初期段階で大きく伸びていることから、CSG のクリープ試験では、載荷軸方向と垂直方向へのひずみや、クリープ載荷時の供試体へのなじみの影響がある可能性がある。その影響度合を考慮した実験方法の改良は課題である。
- ・ 材齢の違いからは、単位クリープでは、91 日材齢の供試体の方が小さい値を示していることから、同一のクリープ荷重の下では材齢が大きくなるほどクリープひずみが小さくなる傾向がわかった。

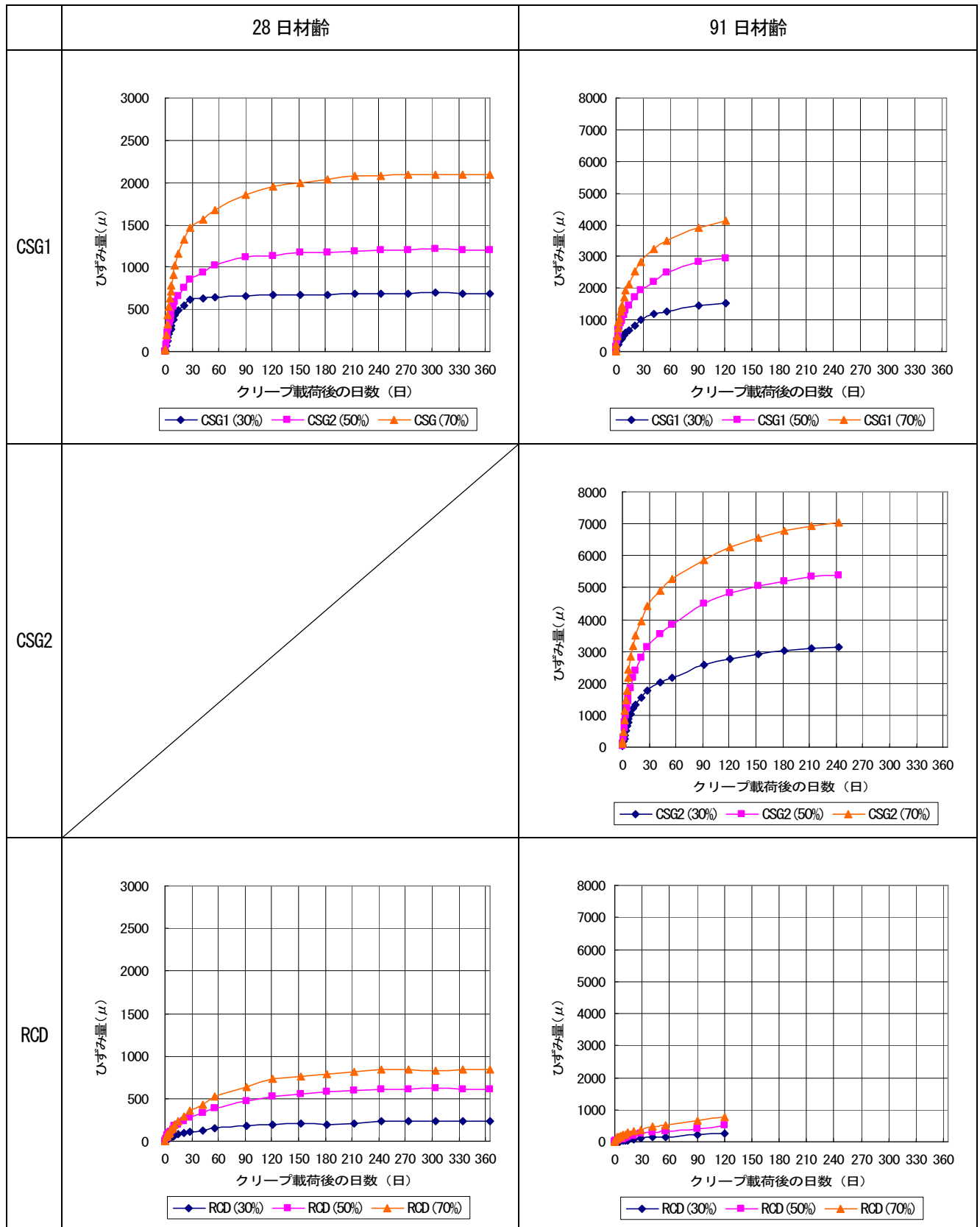


図-9 クリープひずみ

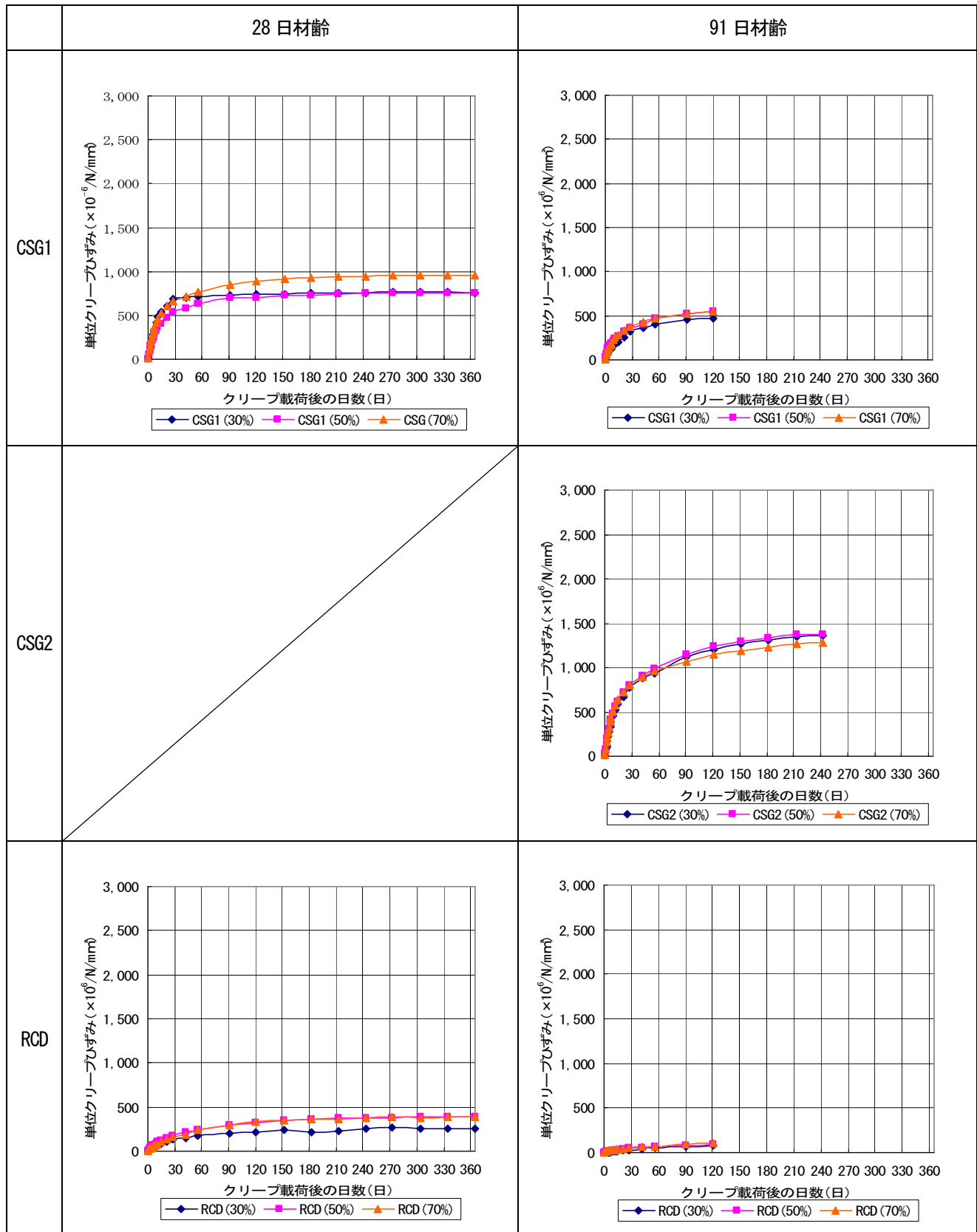


図-10 単位クリープひずみ

4. 全体のまとめ

平成 19 年度の研究成果を以下にまとめておく。

(繰返し載荷試験)

- ① 返し載荷試験の除荷後の残留ひずみは、材齢を問わず RCD が最も小さい。
- ② CSG では 28 日材齢では、載荷する荷重が大きくなるほど、微粒分の多い配合である CSG2 の方が CSG1 と比較し残留ひずみが大きくなる傾向が見られるが、91 日材齢ではこのような傾向は見られない。
- ③ 残留ひずみの値については、材齢、配合を問わず載荷する荷重の増大に伴い、大きくなる傾向を示す。また、CSG では、若材齢時において載荷応力あたりの残留ひずみ大きい。
- ④ 繰返し載荷試験のサイクル毎のひずみは材齢を問わず最大載荷応力が大きくなるに従い大きくなる。また、ひずみ量は、100 回目のサイクルと 400 回目のサイクルでは大きな差はないが、載荷応力の弾性領域強度比率が高くなるほど（弾性領域強度に近い荷重となるほど）100 回目のサイクルと 400 回目のサイクルで生じているひずみ量の差が大きくなっている。
- ⑤ サイクル毎に計測されたひずみを材齢で比較すると、同等レベルの載荷重のもとでは材齢が大きい程ひずみが小さいと推察される。

(クリープ試験)

- ① クリープひずみは 91 日材齢による供試体では RCD が最も小さく、CSG では微粒分含有量の少ない配合の試験結果の方が小さいという傾向が表われた。しかし、28 日材齢の供試体による試験では、RCD は同様の傾向を示したが、CSG では微粒分含有量の多い CSG2 配合における試験結果のばらつきが大きかったためこの傾向を確認することはできなかった。
- ② 単位クリープは、材齢を経た供試体を用いた方がばらつきは小さく、またその値も小さくなる。また、単位クリープについては、28 日材齢供試体のクリープひずみで傾向を見ることができなかった微粒分含有量による違いを 91 日材齢供試体において見いだすことができ、微粒分含有量が多い配合条件の方が大きなクリープひずみが生じていることがわかった。
- ③ CSG1、2 のクリープひずみは載荷の初期段階で大きく伸びていることから、CSG のクリープ試験では、載荷軸方向と垂直方向へのひずみや、クリー

プ載荷時の供試体へのなじみの影響がある可能性がある。その影響度合を考慮した実験方法の改良は課題である。

- ④ 材齢の違いからは、単位クリープでは、91 日材齢の供試体の方が小さい値を示していることから、同一のクリープ荷重の下では材齢が大きくなるほどクリープひずみが小さくなる傾向がわかった。

今後は、長期材齢の供試体の強度・変形特性を把握するための室内試験の継続実施を通じた CSG の長期信頼性の検討、CSG の材料特性の大きさ・ばらつきを考慮した堤体応力解析を実施していく予定である。

(参考文献)

- 1) 藤沢侃彦、吉田 等、安田成夫、佐々木 隆、樋口 淳美、笛田 俊治：「台形 CSG ダム」、ダム技術、No.240、pp.4-24、2006.9
- 2) 服部 敦、安田成夫、佐々木 隆 平山大輔、川崎 秀明：「台形 CSG ダムの応力特性及び弾性特性に関する考察」：ム技術、No.216、pp.25-34、2004.9
- 3) 山口嘉一、佐々木隆、中村洋祐：「強度が不均一な堤体材料の設計法と品質管理法に関する研究」：土木研究所成果報告書【平成 17 年度】、pp.865-880、2006.3
- 4) 岡田、六車；コンクリート工学ハンドブック、朝倉書店、pp.1408～1409、1981

STUDY ON DESIGN AND PHYSICAL PROPERTIES OF TRAPEZOID-SHAPED CSG DAM

Abstract: The trapezoid-shaped CSG dam is a new type of dam that combines the merits of a trapezoid shape and CSG (Cemented Sand and Gravel), and simultaneously rationalizes the design, execution, and materials. The raw material for CSG covers a wide range of materials such as riverbed gravels, excavation mucks obtainable at the dam site, terrace sediments, or weathered rocks. CSG is based on no gradation of raw materials except that large aggregate may be crushed. As a result, the gradation of CSG materials varies widely, even for materials obtained at the same place. Furthermore, the variation of gradation makes it difficult to stabilize the unit water content. Thus, these variations in materials and water content make it difficult to maintain stable CSG quality, especially strength. Therefore, the design and quality control methods for such materials should be established.

In this fiscal year, we conducted cyclic loading tests and creep tests for CSGs to precisely evaluate the strength and deformation characteristics of CSGs.

Keywords: Dam, CSG(Cemented Sand and Gravel), Cyclic Loading Test, Creep Test