

CSGのひび割れが発生するひずみ領域に着目した弾性係数の計測

鹿島建設(株) 正会員 ○室野井敏之 藤崎勝利 坂井吾郎 福井直之 奈須野恭伸 神戸隆幸 大井 篤
法政大学 正会員 溝渕利明

1. はじめに

CSG(Cemented Sand and Gravel)は、現地で発生した岩石質材料に、セメント、水を添加し簡易な設備で混合した建設材料であり、ダム堤体材料などに適用が進んでいる。今回、筆者らは台形 CSG ダムの温度応力解析の精度向上を目指し、解析入力値とする CSG の弾性係数に着目した。本稿では、弾性係数を求める際のひずみ領域を変えて CSG の弾性係数を求め、得られた値について考察した。

2. 従来のCSGの弾性係数の計測方法

CSG の弾性係数の計測方法は、台形 CSG ダム設計・施工・品質管理技術資料¹⁾によって定められている。従来の CSG の弾性係数の計測状況を写真-1、応力-ひずみ曲線の参考図を図-1 に示す。従来は、ダイヤルゲージによってひずみを計測し、応力-ひずみ関係に基づいて弾性係数を求める。初期のひずみは、供試体上下端のゆるみ層の変形や載荷時の機械加圧板と供試体のなじみなどのベディングエラーの影響^{1), 2)}を含むと考えられるため、原点補正を行う。そして、応力-ひずみ曲線における直線区間の最大応力（弾性領域強度 S_1 ）とそのひずみ（ ϵ_1 ）から弾性係数を求めている。

3. 500μひずみ領域における弾性係数の計測

今回、筆者らは台形 CSG ダムの温度応力解析の精度向上を目指し、温度ひび割れが発生すると考えられるひずみ領域における CSG の弾性係数を求めることとした。

従来の CSG の試験方法では、材齢や材料に依るが弾性係数を計測するひずみ範囲は 2000~5000μ 程度であり、一般的なコンクリートの静弾性係数を得るためのひずみ領域よりも一桁大きい。そのため、本検討では、CSG に温度ひび割れが発生する際のひずみ領域として、コンクリートの引張限界ひずみである 100μ 程度^{3), 4)}を目安に考えた。また、CSG はコンクリートと比較してピーク強度のひずみが 5 倍程度大きく、弾性係数も一桁小さいこと¹⁾から、本検討では 500μ のひずみ領域を対象とした弾性係数を得ることとした。

CSG における 500μ のひずみ領域は、従来の試験方法では原点補正が必要となる微小ひずみ領域となるため、ベディングエラーの影響を考慮して、従来のダイヤルゲージと併せてひずみゲージを用いて計測することとした。

4. 弾性係数の計測

4.1 試験概要

試験条件を表-1 に示す。CSG は最大粒径が 80mm であり、40mm のふるい目でウェットスクリーニングを施した

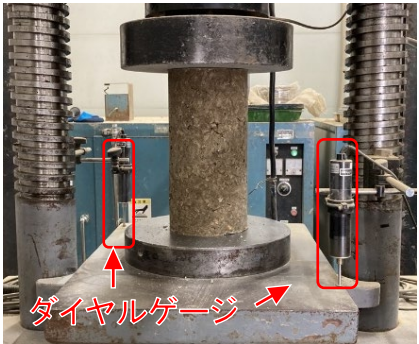


写真-1 CSGの弾性係数の計測状況

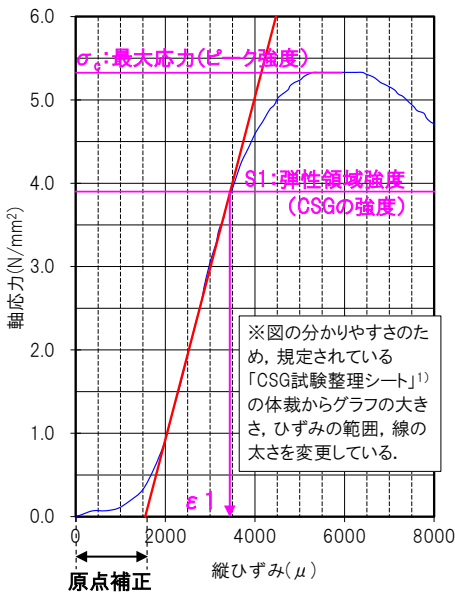


図-1 応力-ひずみ曲線の参考図

表-1 試験条件

項目	適用
CSG 配合	単位セメント量 120kg/m ³ (OPC)
供試体条件	養生：封かん養生 (20℃) 供試体寸法：φ150mm×h300mm 材齢：28 日 N=7 本
ひずみ計測	ダイヤルゲージ・ひずみゲージ

キーワード CSG, ダム, 弾性係数, 静弾性係数
連絡先 〒107-8477 東京都港区元赤坂 1-3-8 鹿島建設(株)土木管理本部 TEL 03-5544-1111

試料により供試体を作製した。供試体本数は、試験結果のばらつきを考慮して7本とした。試験状況を写真-2に示す。

4.2 試験結果

(1) ひずみゲージとダイヤルゲージの計測結果の比較

計測結果の一覧を表-2、応力-ひずみ曲線を図-2に示す。計測結果の一覧で示す弾性係数は、ダイヤルゲージとひずみゲージのそれぞれで得られた応力-ひずみ曲線から図-1で示した従来の弾性係数の計測方法¹⁾により求めた。

ひずみゲージで計測した応力-ひずみ曲線は、ベディングエラーの影響による初期の原点補正を行う範囲はなく、計測の初期から弾性的な軌跡を示していることが確認できる。弾性係数は、ひずみゲージとダイヤルゲージの計測値を比較すると、ひずみゲージの方が2倍程度大きいことが確認できた。

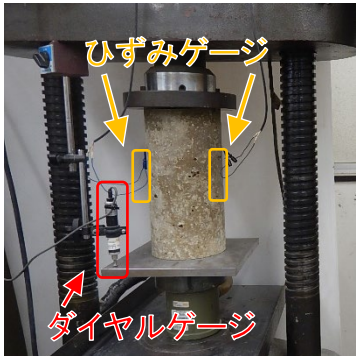


写真-2 計測状況

表-2 計測結果の一覧

	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	平均
密度 (g/cm ³)	2.22	2.22	2.23	2.22	2.22	2.21	2.23	2.22
ピーク強度 (N/mm ²)	8.29	8.92	7.20	8.48	8.51	8.77	8.65	8.40
ダイヤルゲージ	CSGの強度 (N/mm ²)	5.60	6.90	4.30	5.70	6.20	6.50	5.93
	弾性係数 (kN/mm ²)	2.70	2.88	3.68	2.81	3.20	3.06	2.97
ひずみゲージ	CSGの強度 (N/mm ²)	4.90	5.40	4.20	5.30	4.60	5.50	4.89
	弾性係数 (kN/mm ²)	5.77	5.55	6.11	6.13	7.38	6.75	6.19

(2) 微小ひずみ領域における弾性係数

微小ひずみ領域の弾性係数として、ひずみゲージで計測した応力-ひずみ曲線のひずみ 500 μ の範囲で弾性係数を計算した(図-3)。弾性係数は、0~500 μ の範囲で計測値の傾きを回帰し求めた弾性係数と、0~500 μ の割線弾性係数(図中に例記)の2種類を計算した(図-4)。図-3から、微小ひずみ領域では、応力-ひずみ曲線は非線形性を示していることを確認した。図-4から、ダイヤルゲージを用いた従来方法で得た弾性係数(2.97kN/mm²)と比較して、今回検討したひずみゲージを用いた微小ひずみ領域の弾性係数(回帰:8.80kN/mm², 割線:8.29kN/mm²)は3倍程度大きい結果であった。また、回帰により得た弾性係数は割線弾性係数に比べては、やや小さいものの、同程度の値であった。

5. おわりに

今回、台形 CSG ダムの温度応力解析の精度向上を目指し弾性係数の計測方法に着目して検討した。その結果、従来方法で得る弾性係数よりも、今回検討した微小ひずみ領域の弾性係数は3倍程度大きい結果であった。また、微小ひずみ領域において CSG の弾性係数の非線形性が明確に表れていた。

今後、今回の検討で得られた弾性係数を検証していくとともに、温度応力解析に必要な CSG の各種物性値について、精度の良い計測方法を検討していき、台形 CSG ダムの温度応力解析の精度向上を目指していく予定である。

参考文献

1) (財)ダム技術センター: 台形CSGダム設計・施工・品質管理技術資料 2012,6
2) (社)地盤工学会: 地盤材料試験の方法と解析-二分冊の2-,p.760
3) 上田稔, 長谷部宜男, 佐藤正俊, 奥田宏明: コンクリートの引張破壊メカニズムと引張強度の破壊力学的研究, 土木学会論文集 No.466V-19, pp.69-78
4) 松村泰典, 小山智之: セメントモルタル硬化初期における引張り限界ひずみの経時変化, コンクリート工学年次論文報告書, Vol.16, No.1, 1994, pp.681-686

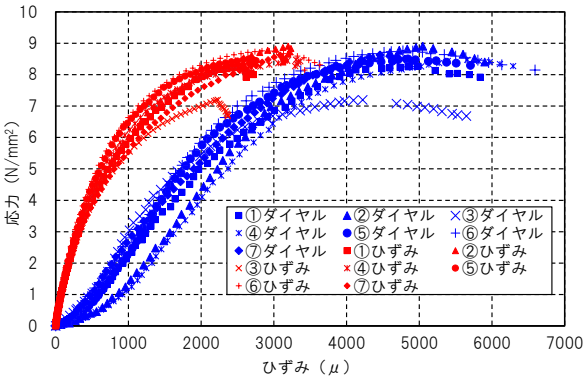


図-2 応力-ひずみ曲線の比較

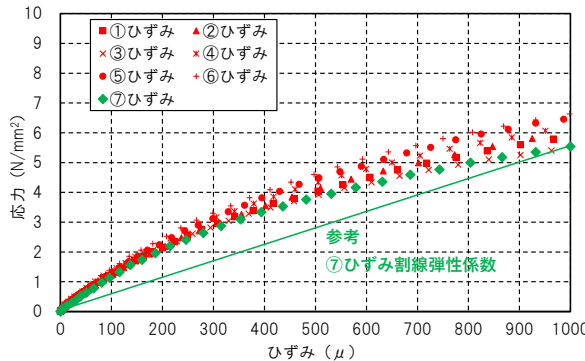


図-3 微小ひずみ領域の応力-ひずみ曲線

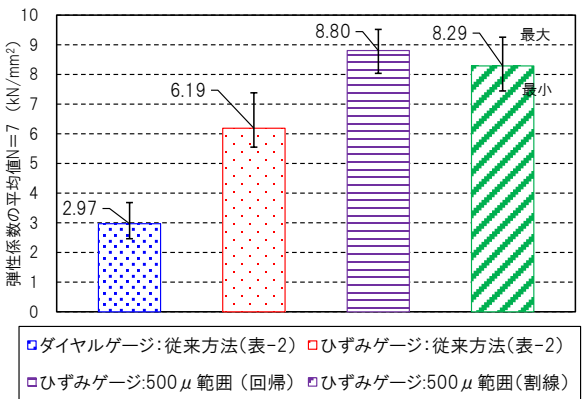


図-4 弾性係数の比較