

プロジェクト名：地下コンクリート構造物の合理的設計法の開発

プロジェクト代表者： 牧 剛史（理工学研究科・准教授）

1 はじめに

地下コンクリート構造物の耐震設計は、近年の性能照査手法の高度化に伴い、大幅に合理化されてきた。一方、常時の静的設計においては、持続的荷重作用に伴う長期クリープ変形を抑制するために、コンクリートの許容応力度を圧縮強度の 1/3 に制限している。その結果として、部材厚や鉄筋量が常時の設計に支配され、静的に合理的でない設計となっている可能性がある。仮に構造物がクリープ変形した場合、それに伴って相互作用力（土圧）は緩和されると考えられることから、若干のクリープを許容することによって、静的釣合いに至る土圧レベルが低減され、部材断面をスリム化できると考えられる。そこで本研究では、構造躯体の時間依存変形を考慮した合理的設計法の開発を目的として、コンクリートのクリープ特性の解明およびこれを考慮した地下コンクリート構造物の長期変形の解析的予測と感度解析に基づく合理的設計法の可能性について検討した。

2 コンクリート（モルタル）のクリープ特性に関する実験

コンクリート（モルタル）の引張クリープ特性を明らかにすることを目的として、円環クリープ試験を実施した。モルタル円環の内側に金属製円管を配置した供試体を作製し、モルタル円環の収縮に伴う金属製円管の直径変化量を経時的に計測することで、モルタル部分の引張クリープ特性を求めた。金属製円管の寸法は外径 105mm、肉厚 5mm、高さ 50mm とし、同一寸法でヤング率の異なるアルミ製および真鍮製の 2 種とした。表-1 に示す 4 種類のモルタルを対象として、モルタル円環の肉厚は 20mm とし、打設後材齢 1 日で脱型、7 日目まで水中養生を施し、その後 20°C（常温）および 60°C（高温）環境下で供試体を乾燥させ、金属製円管の直径を経時的に計測した。計測された直径変化量からモルタル円環に作用する引張応力を算定し、併せて作製した角柱供試体の自由収縮量を用いてモルタル円環のクリープひずみを算定した。

実験結果の一例として、普通セメントモルタル供試体の引張クリープ特性を図-1 に示す。ここで、横軸はクリープひずみを弾性ひずみで除したクリープ係数、縦軸は引張応力を引張強度で除した応力強度比で示している。これより、低い応力レベルではばらつきが大きいものの、拘束度の違い（金属製円環の違い）によらず、クリープ係数はやがて 1 程度に近づいていく傾向が明らかになった。環境温度の違いはセメントの水和反応自体に影響を与えることから、本実験結果ではその影響は明らかになるには至らなかった。

表-1 供試体の配合

試験体名	水粉体比	水	セメント	細骨材	高炉スラグ	フライアッシュ	(kg/m ³)	
							混入率 (内割質量比)	
BS30	50%	363	508	1008	218	-	-	30%
BS60	50%	359	288	1008	431	-	-	60%
FA20	50%	355	567	1008	-	142	-	20%
OPC	50%	367	734	1008	-	-	-	-

セメント：普通ポルトランドセメント 比重3.15 プレーン比表面積3580 cm²/g
スラグ：高炉スラグ微粉末 比重2.89 プレーン比表面積4400 cm²/g
フライアッシュ：フライアッシュ二種 比重2.17 プレーン比表面積4180 cm²/g
細骨材：河砂 比重2.52

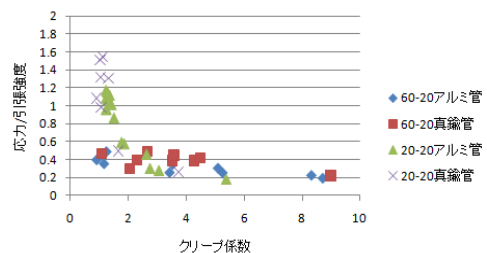


図-1 普通モルタルのクリープ特性

3 クリープを考慮した地下コンクリート構造物の合理的設計

クリープを考慮した二次元有限要素解析により、鉄筋コンクリート製地中ボックスカルバートの合理的設計の可能性について検討を行った。従来設計法によって設計された基本モデルを図-2に示す。本モデルに対し、頂版・側壁・底板の主鉄筋量および板厚を減じることによって、コンクリート応力レベルを増大させたモデルを数パターン設定した(表-2)。これらのモデルに対して長期クリープ解析を実施して、構造物の供用期間(50年間)に渡る安定性について検討した。長期クリープ解析の結果、クリープによる構造体変形に伴い、側壁あるいは底板中央付近における作用土圧が低下し、時間の経過とともに次第に収束する傾向が見受けられた。これにより、各部材に作用する断面力は結果的に減少し、構造体の変形も収束することが確認された。結果として、作用断面力レベルは建設当初の値に比べて低下したため、設計上の照査は全て安全側(断面力が設計断面耐力以下)と判定された(図-3)。以上より、コンクリートのクリープ変形を許容した設計においても、地中ボックスカルバートの静的な長期安定性が確保されることが明らかとなった。

次に、以上のモデルに対して、供用開始直後とクリープ変形が収束する30年後時点における耐震安定性を確認するために地震応答解析を行った。入力地震動は、構造物の供用期間中における発生確率は低いが強度が非常に高いレベル2地震動(再現期間約1000年)を用いた。解析の結果、鉄筋量や断面積を大きく減じたモデルD、Fでは、側壁曲げモーメントが危険側となる瞬間があったが、モデルC、Eでは全て安全側(設計断面耐力以下)となった。

以上の結果から、鉄筋量や板厚を過度に減ずることはできないものの、あるレベルまでの設計合理化が可能であることが明らかとなった。

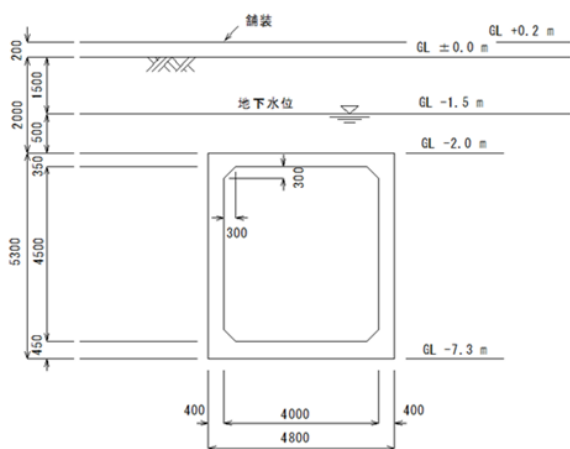


図-2 基本モデルの形状寸法

表-2 設定した合理化モデル

モデル C	基本モデルに対し、主鉄筋量-10%			
モデル D	基本モデルに対し、主鉄筋量-25%			
	モデル F		モデル G	
	部材厚(m) 断面積(m ²)	基本モデルに 対する変化率	部材厚(m) 断面積(m ²)	基本モデルに 対する変化率
頂版	0.280	-20%	0.315	-10%
側壁	0.280	-30%	0.360	-10%
底板	0.340	-25%	0.405	-10%
内空断面積	19.843	+10%	18.686	+4%

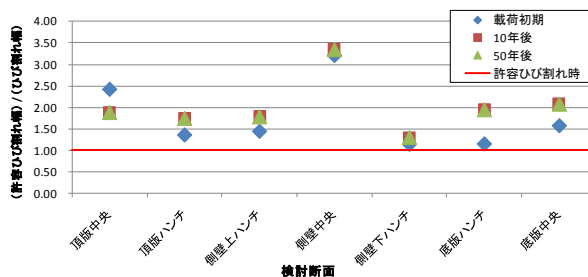


図-3 長期クリープ解析に基づく使用限界状態の照査結果(モデルF)

4 まとめ

コンクリートのクリープ変形を許容することによって、地中コンクリート構造物の部材断面や鉄筋量を減少させる、すなわち設計を合理化できる可能性が示された。今後は、地下水など地下環境に応じたクリープ特性の把握と、それを反映した長期性能評価の高精度化が必要であり、さらに精緻な合理的設計が可能となると考えられる。