

過大変形に対応するトンネル構造に関する実験的考察

砂金 伸治¹・真下 英人¹・日下 敦¹・森本 智¹・角湯 克典²

¹正会員 独立行政法人土木研究所 道路技術研究グループ (〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6)
E-mail:n-isago@pwri.go.jp

²独立行政法人土木研究所 道路技術研究グループ (〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6)

近年、地山条件が不利な状況でのトンネルの施工事例が増加しているが、現在のトンネル構造において過大な外力の作用に伴う変形が生じる場合は、その変形等に対してトンネル構造が追従することができない。本研究では、過大な外力や変形に対して追従できるような吸収機構を持つトンネル構造を想定し、模型実験を通じてその基本的なメカニズムの解明を試みた。

その結果、吸収機構をトンネルが持つことにより、構造に作用する荷重と変形量の関係、また構造に発生するひび割れの位置やその発生荷重に影響が及ぼされること、加えて、発生するひずみが構造全体では緩和される傾向があるといったことを実験的に明らかにした。

Key Words : tunnel, large deformation, support, compressible elements, model test

1. はじめに

近年、膨張性の地山といった地山条件が不利な状況でのトンネルの施工事例が増加している。このような場合、トンネル構造に作用する外力に対して、地山の変形を許容して作用する外力を「いなす」ことによる対応と、生じる変形を抑制するために支保構造の剛性を高くする対応があり、現在は後者による方法が多く採られていると考えられる。また、大規模地震等に挙げられるように過大な外力が作用してトンネル構造に被害が発生した事例^{1)~2)}も見られ、被害発生メカニズムの解明がなされてきている^{3)~4)}。被害の発生事例として、例えば覆工の崩落があるが、その現象が生じる理由の1つとして、地山の変形とトンネルの変形に差が生じていることが考えられる。このように、現在のトンネル構造は地山等から過大な外力が作用して変形を生じる場合、それに対して構造自体の挙動が追従することができないため、トンネルが構造として荷重を受け持っているといえる。

しかし、トンネル構造が変形に追従し、その結果として外力を吸収できると見なせる形を取ることが可能となれば、トンネル構造が破壊する時点での変形量を大きく確保出来るということになる。海外ではトンネルの部材などに可縮要素を持ち、大変形等に対応する事例が散見されている⁵⁾が、我が国のようなトンネル数が多く、か

つ、厳しい施工条件・自然条件下において、より安全なトンネル構造を構築するためには、施工性、安全性、地山の挙動といった種々の観点に加え、経済性にも留意しなければならないといった課題はあるものの、1つの方策として現在のトンネル構造のあり方を見直すことが考えられる。

本研究では、過大な変形や外力に耐えうるトンネル構造を構築する場合に、現在の剛性を高めて対応する「剛な」トンネル構造に対して、構造的になるべくシンプルな形で変形に追従し、過大な外力を吸収できるような機構を持つ「柔な」トンネル構造を考え、それぞれの場合の変形性能や耐荷力といった基本的な力学的特性の差異や挙動のメカニズムの解明を模型実験を通じて試みた。

2. 実験方法

(1) 実験の概要

本研究では写真-1に示す土木研究所の二次元載荷試験装置を使用し、過大な外力が作用すると想定した場合のトンネル構造の挙動に関して検討を行った。本装置は可動壁、反力フレーム、載荷用油圧ジャッキ、反力架台から構成され、油圧ジャッキは1本あたり最大で400kN程度まで載荷が可能である。また、可動壁等によって構成

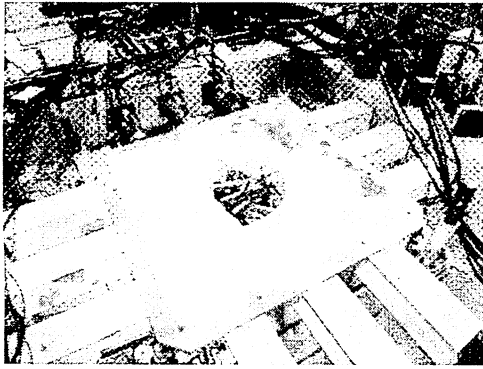


写真-1 二次元載荷試験装置の概要と実験の状況

される実験土槽は内寸が1.3m四方、高さが0.3mであり、可動壁自体は1面が50mmまで移動することが可能である。実験土槽の中央部にトンネル構造を模擬したモルタル製の供試体を設置し、その外側に模型地山を作製して反力フレームの1面からジャッキ2本を使用して載荷を行った。ジャッキによる載荷を行わない3面では、H-200の鋼製柱を1面あたり3本設置し、実験土槽と可動壁を極力固定した。また、土槽内に設置するモルタル供試体は土槽の床面には固定せず、床面との摩擦を極力除去するためにテフロンシートを敷設した。モルタル供試体および模型地山の作製後は、試験装置自体に上蓋をかけて実験を行った。その際、モルタル供試体と上蓋の間や、可動壁の端部から模型地山の材料が外に漏出しないように油粘土を配置した。

(2) 模型地山

模型地山の作製は土槽に標準砂を空中落下させて行う方法とし、投入した砂の密度を管理した。なお、実験における模型地山の密度を算定したところ、 $1.36 \sim 1.43 \text{g/cm}^3$ であった。

(3) 供試体

実験ではトンネル構造を模擬したモルタル製の供試体を使用した。表-1に使用したモルタルの配合を示す。また、図-1に供試体の概略の寸法を示す。なお、本研究では図-1内に斜字で示すように供試体の右側のスプリングラインの部分を0度とし、反時計回りに角度を定義した。

モルタル供試体は2車線トンネル相当断面の概ね1/20の大きさと形状を模擬し、アーチ部は外径が600mm、厚さが20mm、奥行きが295mmの単心円を基本として作製した。また、スプリングラインからインバートの寸法は図-1に示すとおりであり、アーチからインバートに対するすり付け部分の増厚は施していない。モルタル供試体の作製は、予め成型した木製型枠にコンクリートを打ち込み、アーチとインバートを同時に作製するとともに、別途強度管理や供試体の特性を把握するための一軸圧縮

表-1 供試体のモルタル配合

材齢28日の 目標強度 (N/mm^2)	W/C(%)	単位量 (kg/m^3)			
		セメント	水	細骨材	混和剤 (AE減水剤)
18	66.8	352	235	1575	3.52

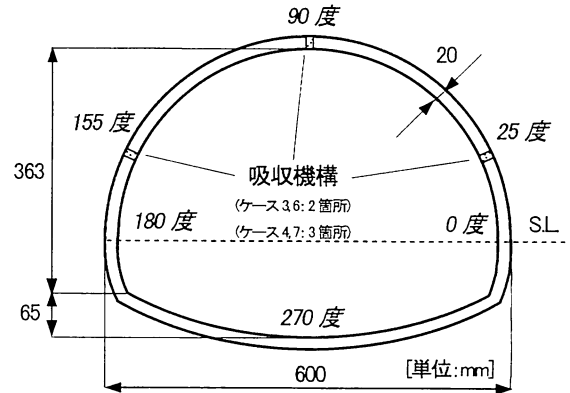


図-1 供試体の概略寸法

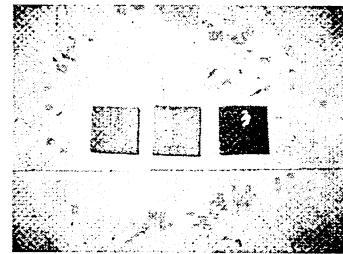


写真-2 合成ゴム

表-2 計測項目

ひずみ	アーチ部:0度から15度間隔で内外面 インバート部:225, 270, 315度で内外面	ひずみゲージ
変位	0, 45, 90, 135, 180, 270度の中心方向の変位	変位計
荷重	油圧ジャッキによる荷重	油圧計

試験用のテストピースを作製した。脱型や実験は所定の強度を確認してから実施した。

本研究では、現在の通常の状況で構築されているトンネル構造を「剛な」トンネル構造(以下、剛構造)と称することとし、剛構造に対して「吸収機構」を配置した「柔な」トンネル構造(以下、柔構造)を考え、剛構造と柔構造の挙動の比較を行った。吸収機構としては、写真-2に示す市販の合成ゴムを使用し、大きさが10mm×20mm×295mmの棒状になるように準備し、後述する実験ケースに応じて供試体の25度、90度、155度の位置に挿入した。なお、モルタル供試体と合成ゴムは接着剤にて接合した。

(4) 計測項目および方法

表-2に本研究で計測した項目を示す。ひずみについてはアーチ部で13箇所の表裏で26点、インバートが存在するケースではインバート部で3箇所の表裏で6点を加えて計測し、また、変位については6箇所で計測を行った。

供試体に対する荷重は写真-1に示した荷重装置に蓋をのせ、地山材料を外に漏出させない形で実施している。その際の開口部は供試体よりも小さいことから、供試体のひびわれ観察は内面側の観察可能な範囲でのみ目視を行い、ひび割れが生じた荷重を記録する形とした。なお、計測機器等の存在等で目視が不可能な場合や、供試体の外面についての観察は装置の制約上当初から不可能であることから、実験終了後にひずみの計測結果に基づいてひび割れの発生位置を推定した。

(5) 実験ケースおよび荷重方法

表-3に本研究で実施した実験ケース、および荷重した荷重の方向について示す。実験では、一方向からの荷重が作用した場合において、剛構造のひび割れの発生とその進展の状況、変形やひずみの発生状況、および破壊のメカニズムを把握した。引き続いて柔構造に対して剛構造と同様の実験と計測を行い、その差異を検討した。なお、基本となるケースとして吸収機構が配置されていないケースを設定した。特に鉛直方向の荷重を作用させたケース1およびケース2に対してはそれぞれ2回実施し、それぞれケース1-1、1-2、またはケース2-1、2-2と称した。ここで、ケース1-1およびケース1-2はインバートが存在しないケースであり、供試体としてリングの構造になっていないことから、模型地山の安定を保つために底盤に鋼板を設置して砂が流入しないようにして実験を行った。なお、鋼板とモルタル供試体の接着は行っていない。

また、荷重した荷重の方向は供試体に対して、90度方向から供試体の中心に向かって荷重する鉛直方向荷重と180度方向から供試体の中心に向かって荷重する水平方向荷重の2通りを考えた。

3. 実験結果

(1) 供試体等の特性

表-4にモルタル供試体の材料特性として、実験ケース毎の一軸圧縮強度、ヤング率、ポアソン比および引張強度を示す。引張強度については、コンクリートの割裂引張強度試験により算定した。ケース1-1とケース1-2、およびケース2-1とケース2-2それぞれのケースでは、ケース1-1の引張強度を除いて特性の差が少ないと考えられるが、ケース3～4およびケース6については、一軸圧縮強度や引張強度が若干低めであった。

また、吸収機構で用いた合成ゴムの特性については、上述した写真-2に示した10cm四方で厚さ1cmのゴム板を準備し、それに荷重し、応力とひずみの関係を算出した。ここでいうひずみとは合成ゴムの厚さ1cmに対してゴム

表-3 実験ケース一覧

ケースNo.	インバート	吸収機構	荷重
1-1	なし	なし	鉛直
1-2	なし	なし	鉛直
2-1	あり	なし	鉛直
2-2	あり	なし	鉛直
3	あり	25度, 155度	鉛直
4	あり	25度, 90度, 155度	鉛直
5	あり	なし	水平
6	あり	25度, 155度	水平
7	あり	25度, 90度, 155度	水平

表-4 モルタル供試体の材料特性

ケースNo.	一軸圧縮強度 [N/mm ²]	ヤング率 [kN/mm ²]	ポアソン比 -	引張強度 [N/mm ²]
1-1	27.54	16.89	0.19	1.64
1-2	27.87	16.82	0.20	2.59
2-1	25.08	16.35	0.20	2.16
2-2	25.84	17.39	0.21	2.49
3	21.07	13.58	0.17	1.69
4	21.07	13.58	0.17	1.69
5	25.14	17.31	0.16	2.23
6	20.60	16.52	0.16	1.53
7	26.62	16.84	0.22	2.38

(注)ケース3、4は同一の実験実施日のため強度が同一

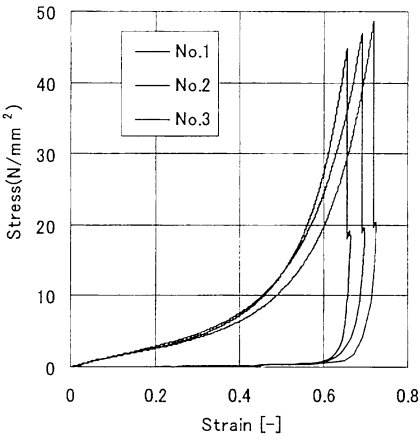


図-2 吸収機構の材料特性

が収縮した量を、みかけのひずみ量として換算して算定したものである。図-2に本実験で用いた合成ゴムの応力とみかけのひずみの関係を示す。なお、試験はNo.1～3に示す3体で実施した。合成ゴムは荷重するひずみが増加するにしたがって剛性が増加する特徴を持つため、挙動は非線形となる。今回の実験ではモルタル供試体の強度が表-4に示すように20～30N/mm²程度を対象にしていることから、一つの目安としてゴムのヤング率を仮定するならば、モルタルのヤング率の1000分の1程度のオーダーとなるE=20～30MPa程度と考えられる。

また、モルタル供試体を用いた実験を行う模型地山の特性を把握するために、モルタル供試体を設置しない状態で標準砂のみに荷重する形で、ジャッキの荷重面の平均変位と荷重荷重の合計との関係を把握した。図-3にその結果を示す。試験はNo.1～2に示すように2回実施した。

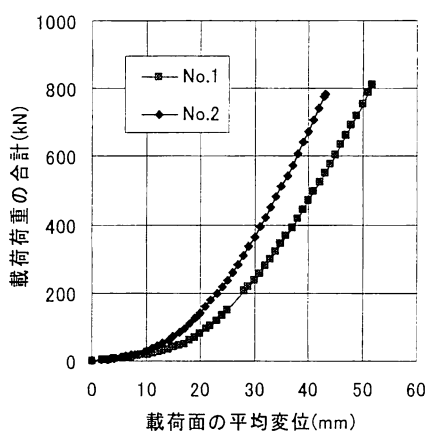


図-3 模型地山の変形特性

これより、変位が小さい段階と大きい段階で模型地山の変形の特性が異なる。変形の特性は全体的に曲線状の関係を示すため、一概に直線で近似することは課題があるものの、載荷面の平均変位が0～15mm程度まで、すなわち載荷荷重の合計が40～70kNに達する程度までは、模型地山の見かけの変形係数は8～16MPa程度、また、平均変位が20mm以上では、模型地山の見かけの変形係数は78～94MPa程度を有していたと考えることができ、実験の初期と終期では10倍程度の見かけの変形係数の差が出ている。

(2) 荷重と変形の関係

本節ではモルタル供試体の変形性能として、モルタル供試体に対して土槽を介して作用させた荷重と変形の関係について考察する。

a) 鉛直方向荷重の場合

図-4～図-5にケース1-1～ケース4、すなわち鉛直方向荷重が作用する場合の、ジャッキによる可動壁への作用荷重と供試体の鉛直方向の変形量、または水平方向の変形量を示す。ここで、鉛直方向の変形量とは天端部(90度)と底盤部(270度)の断面の収縮量を示し、水平方向の

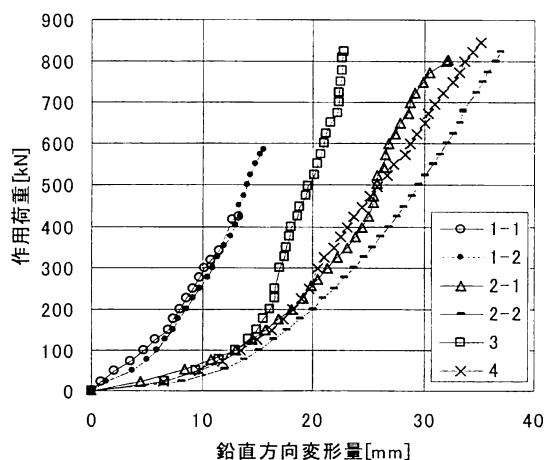


図-4 鉛直方向変形量(鉛直方向荷重のケース)

変形量とは側壁のうち、側壁の0度と180度の収縮量を示している。なお、変形量は断面が収縮する側を正、拡大する側を負としている。なお、インバートがない構造(ケース1-1およびケース1-2)に関しては、模型地山の材料とした標準砂が模型の中に入らないように底盤に設置した鋼板と90度の箇所との絶対的な収縮量を示している。なお、供試体はケース1-1、1-2およびケース2-1で破壊を生じてジャッキによる荷重が不可能になり、ケース2-2、ケース3およびケース4ではジャッキの最大荷重に至るまで破壊を生じてジャッキによる荷重が不可能となることはなかった。

図-4と図-5より、インバートがないケース1-1およびケース1-2に関しては、他のケースよりも最大荷重が小さいことから、インバートの設置により荷重可能な荷重が増加することが分かる。ただし、インバートを設置しない方が、作用荷重に対して変形量が小さく、見かけ上、構造全体の剛性が高くなる結果が得られているが、本実験ではケース1-1および1-2で変形量を計測した一方の面が鋼板であることから、変形量がより小さい値で得られたことが推察される。またインバートがあるケース2-1およびケース2-2に関しては、ケース2-1では供試体が破壊したが、ケース2-1より若干強度の高いケース2-2ではジャッキの荷重上限に達しても供試体が完全に破壊した状態には達せず、ジャッキによる荷重が不可能となるまでに至らなかった。ただし、荷重と変形量の関係は概ね同一であった。

図-4より、吸収機構を有しているケース3およびケース4に関しては、ケース2-1やケース2-2と比較すると、ケース3では同一の荷重で変形量が小さくなっており、ケース4では大きな差が見られない。ここで、表-4よりモルタル供試体の強度や剛性がケース3およびケース4ではケース2-1やケース2-2よりも小さくなっている。その一方で、図-4の荷重と変形の関係からケース3およびケース4ではケース2-1やケース2-2よりも見かけ上の剛性が高

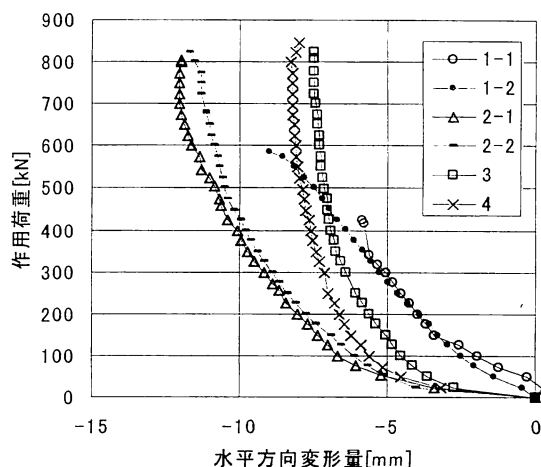


図-5 水平方向変形量(鉛直方向荷重のケース)

くなっていると考えられる。しかし、作用荷重が大きくなった段階では荷重と変形の曲線の傾きに差が見られず、図-3に示した模型地山のみで実施した荷重と変形の傾きとほぼ同一の傾向をとることから、模型地山の变形特性の影響を大きく受けていることも推察される。加えて、ケース3およびケース4ともに供試体の破壊までは達しなかった。以上より、実験結果のみから耐荷力について明確な評価を行うことは現段階では難しい。

図-5より、水平方向の断面の収縮については、吸収機構を有するケース3およびケース4は大差がなく、ケース2-1およびケース2-2に比較して同一の荷重で変形量が小さくなる結果が得られた。ケース3およびケース4では、鉛直方向荷重の作用により本来はアーチ部より側壁の部分へ伝達される力が吸収機構によって減じられることにより供試体が広がる方向での変形が小さくなると推察される。

以上をまとめると、本実験で実施したような形で吸収機構を配置した柔構造では剛構造と比較して、同一の鉛直方向荷重が作用した場合は、吸収機構を配置しても鉛直方向の変形量に及ぼす影響は大きくないが、水平方向の変形量を小さくする可能性があることが分かる。ただし、地山の特性および供試体の強度の両者の影響を加味したさらなる検討が必要である。

b) 水平方向荷重の場合

図-6～図-7にケース5～7、すなわち水平方向荷重が作用する場合の鉛直方向と水平方向の変形量を示す。なお、供試体は全てのケースで破壊を生じ、ジャッキによる載荷が不可能になった。

図-6より、吸収機構の有無と鉛直方向の変形量に大きな差は見られないが、ケース5とケース6を比較すると、ケース6がケース5よりも強度が小さいが、破壊荷重は増加している。また、ケース5とケース7を比較しても、吸収機構が存在するケース7で破壊荷重が上昇する結果が得られた。このことは吸収機構の存在により、破壊荷重

が増加する可能性があることを示唆している。ただし、荷重と変形量の傾きについては大きな差は見られない。

また、図-7より水平方向の変形量については、ケース5とケース6ではあまり変わらないが、ケース7では同一の荷重では変形量が大きくなる傾向が見られた。

以上より、本実験で実施した形で吸収機構を配置した柔構造では、同一の水平方向荷重が作用した場合は、変形が大きく発生し、最大荷重も増加する場合があることが分かる。

(3) ひずみの変化の傾向とひび割れや破壊の状況

試験装置の制約から外面側のひび割れの発生については目視での観察が出来ないため、本研究では目視で観察できた内面側のひび割れと、各点のひずみの変化の状況を検討した。着目した引張りひずみは、引張りひび割れが発生する1つの目安と考えられる 200μ 、圧縮ひずみは圧縮の限界に達する -2000μ および -3500μ とし、特に引張りひび割れについては、実験終了の時点で供試体の観察によって生じたものが、 200μ 程度で発生したものと仮定して考えた。

a) 鉛直方向荷重の場合

図-8にケース2-2、ケース3およびケース4の目視によって観察されたひび割れの発生状況および各点のひずみの変化の傾向を示す。なお、載荷の継続中に目視によって観察されたひび割れは原則として内面側にとどまり、外面側のひび割れは実験終了後に確認されたものである。

ケース2-2では天端およびインバートの内面でひび割れの発生が目視により観察され、ひずみから想定すると側壁部の外面でもひび割れが生じた状態に近いと考えられる。ひび割れの発生順は天端やインバート、その後に側壁と推定され、全て曲げ圧縮の状態で発生したと考えられる。最終的には天端と側壁、インバートで圧縮の限界に達している箇所が見られている。

また、ケース3では天端とインバートでのひび割れの

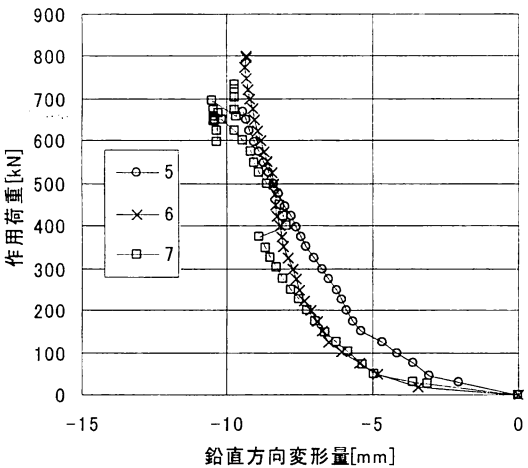


図-6 鉛直方向変形量(水平方向荷重のケース)

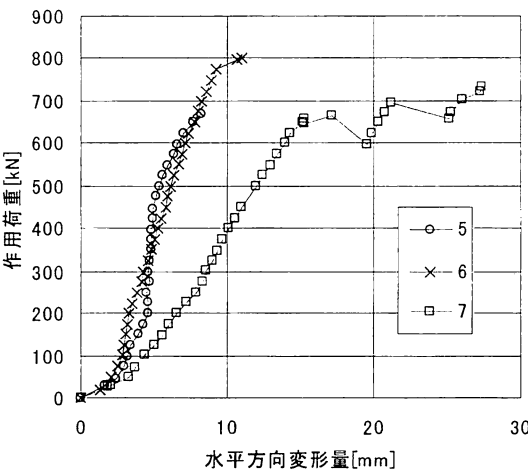


図-7 水平方向変形量(水平方向荷重のケース)

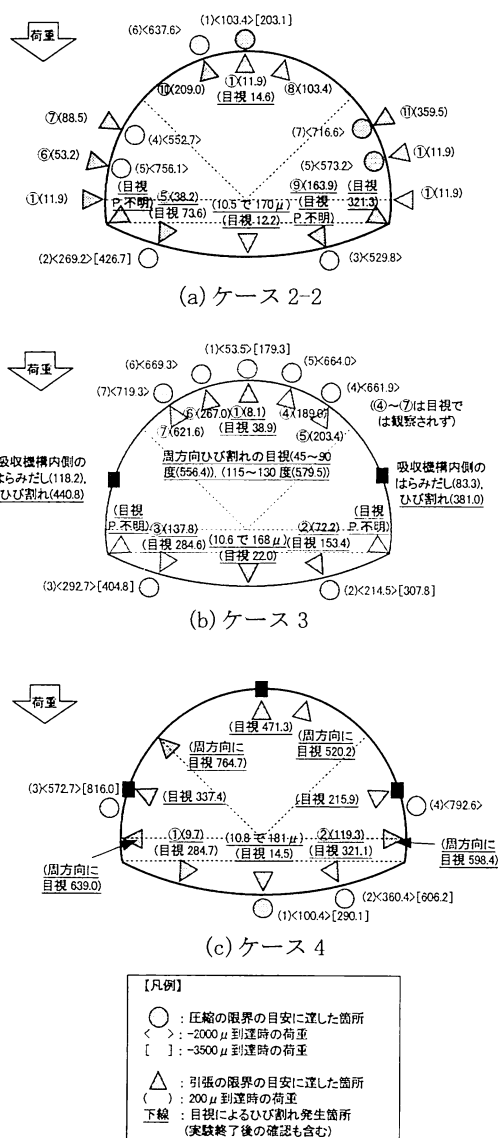


図-8 ひび割れ等の発生状況(鉛直方向荷重)

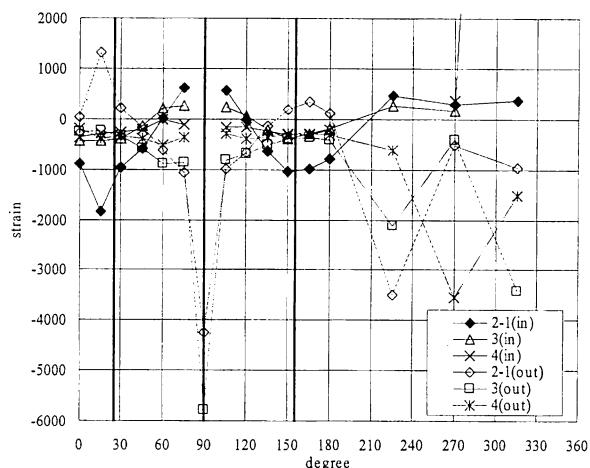


図-9 ひずみの断面内での変化(鉛直方向荷重, 300kN)

発生が観察されたが、吸収機構が存在している側壁では引張に起因すると考えられるひび割れは観察されなかった。ひび割れの発生順は天端・インバートがほぼ同時で

あり、両者とも曲げ圧縮の状態が発生したと考えられる。ただし、吸収機構の付近で合成ゴムがつぶれてはらみ出す形になり、その部分で供試体が圧縮破壊を生じ、それに伴ったせん断ひび割れが生じていた。最終的には天端とインバートで圧縮の限界に達している箇所が見られている。

さらに、ケース4では引張によるひび割れはインバート部分だけで見られ、それ以外の内面におけるひび割れは荷重が大きくなってきてからのせん断破壊によるものと考えられるもののみが観察された。

図-9に荷重が300kNの場合のひずみの断面方向の変化の分布を示す。25, 90, 155度の黒線は吸収機構が存在する場合のその位置を示す。これより、今回計測した点に関しては、吸収機構を配置したケース3やケース4の25度および155度付近といった側壁の部分では全圧縮の状態となっており、ケース2-1やケース2-2とは大きく異なる傾向となっている。特に、実際の現象においても吸収機構近傍でのモルタル供試体の圧縮破壊が観測されており、ひずみの計測結果の傾向と合致した。また、ケース3やケース4では、ひずみの値の変化が一部を除けば、全体的に平滑になっていると考えられ、全体としてひずみの低減が見られる可能性がある。さらに、ケース4の吸収機構を3箇所配置した場合は、インバート部分では引張ひずみが生じたものの、アーチ部分では引張ひずみは生じない結果が得られている。ただし、今回の吸収機構の接合は接着剤による簡易な手法によるものとどまっていることや、部材全体にわたってのひずみの減少の度合い、および吸収機構近傍のひずみや応力状態についてさらなる検証が必要である。

以上より、剛構造と柔構造を比較した場合、ひび割れの発生位置が見かけ上変化するとともに、ひずみも局所的に大きな値になりにくい、すなわちひずみの発生量は吸収機構を配置すると、減少する傾向が見られたが、ひび割れの発生する箇所の近傍に吸収機構が配置されたこともあるため、その影響の関連性についてはさらに検討が必要である。また、吸収機構の近傍でモルタル供試体が圧縮破壊を生じているが現象が見られていることから、その箇所でのひずみの値に関する検討が必要である。

b) 水平方向荷重の場合

図-10にケース5～7の目視によって観察されたひび割れの発生状況および各点のひずみの変化の傾向を示す。

ケース5では内面側の側壁でひび割れの発生が観察され、ひずみから想定すると天端付近の背面でひび割れが生じたと考えられる。ひび割れの発生順は、目視では載荷側ではない側壁(0度側)→載荷側の側壁(180度側)となっていたが、ひずみが200μに達した荷重はほぼ同一であった。なお、実験の継続中ではインバートにひび割れは観

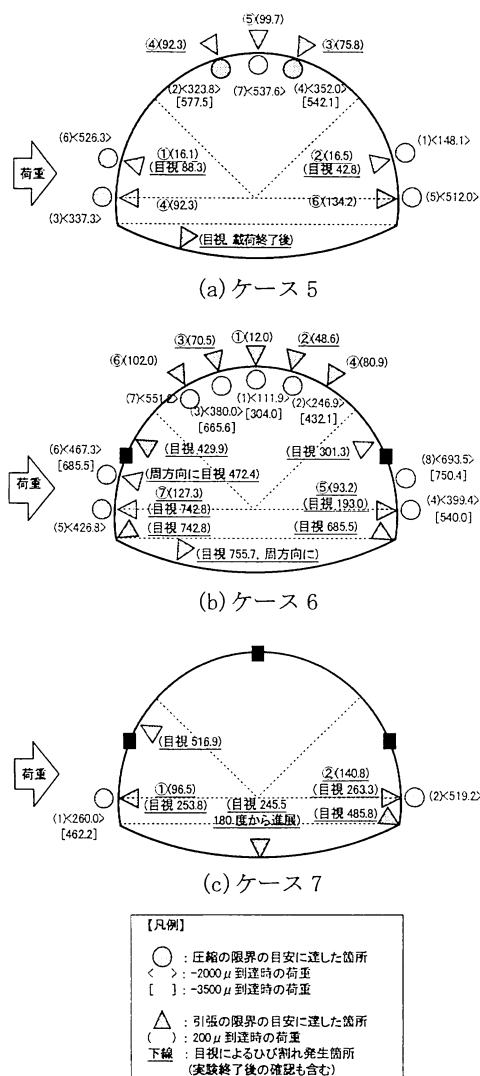


図-10 ひび割れ等の発生状況(水平方向荷重)

察されなかった。供試体の破壊は0度の付け根で折れるような形で発生した。

また、ケース6ではひび割れの発生は側壁で確認されたが、それよりも先にひずみが200 μ に達したのは天端部の外面側であった。圧が生じている箇所がケース5に比較して多く存在し、破壊はケース5とは異なり、全体がせん断破壊を生じるような形と、インバートで全断面圧縮による破壊を生じるような形となった。

さらに、ケース7では側壁にひび割れが観察された以外では大きな変化は見られず、断面に対して斜め横断方向にせん断ひび割れが進展するとともに、吸収部での圧縮によるひび割れを生じ、最終的には180度の付け根で折れるような形で破壊を生じた。

図-11に荷重が300kNの場合のひずみの断面方向の変化の分布を示す。これより、吸収機構を配置した場合でもケース6ではひずみの減少の度合いが小さい。ただし、ケース6は供試体の強度が小さいことからその影響がないかどうかの検証が必要である。ケース7ではケース5に比較すれば、全体的にはひずみは小さくなっているが、

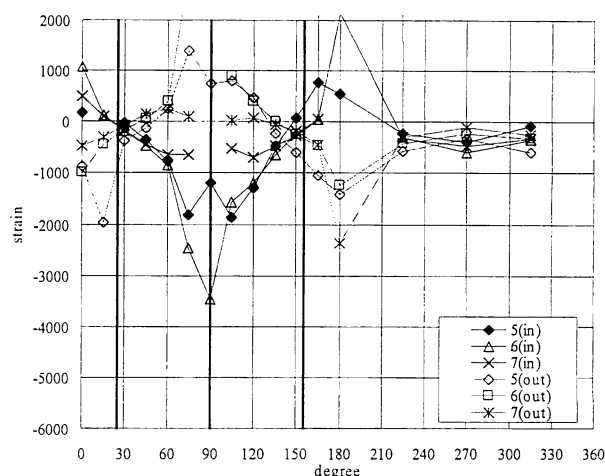


図-11 ひずみの断面内での変化(水平方向荷重, 300kN)

180度の側壁のように逆に大きめに現れている部分もある。

以上より、剛構造と柔構造を比較した場合、ひび割れの発生位置が変化するが、ひずみの発生量の減少する傾向は鉛直方向荷重が作用する場合よりは顕著には見られなかった。

4. おわりに

本研究では過大な変形や外力に耐えうるトンネル構造を構築する場合として、トンネルが剛な構造である場合と柔な構造である場合の両者を考え、それぞれの場合の変形性能や耐荷力といった基本的な力学的特性の差異および挙動のメカニズムの解明を試みた。その結果、以下の知見が得られた。

- 吸収機構を配置することにより、荷重と変形量の関係は、配置しない場合に比較して大きく異なることが分かった。ただし、鉛直方向荷重が作用する場合は変形量には大きな影響がないが、水平方向荷重が作用する場合は変形量が増加する場合があるなど、吸収機構の配置との関連性や地山の挙動による影響を考慮に入れないとその傾向は一概には論じられない
- 吸収機構を配置することにより、ひび割れの発生位置が見かけ上変化し、ひずみも構造全体では緩和される傾向があることが分かった。ただし、吸収機構の近傍で圧縮破壊を生じる現象が見られたように、ひずみの集中等が局所的に現れる場合がある

今回は吸収機構を設けた場合の構造の大まかな挙動を把握するための模型実験を行ったが、その配置だけでな

く、外力が作用する方向によって変形の特性が大きく異なることが分かった。すなわち、構造本体の議論に加えて、外力の作用を考慮にいたした検討が必要になる。また、地山の特性によっても影響を受けることが推察される。

吸収機構の考え方やその位置、また、施工性等の課題が残されたままで、基礎的なメカニズムを把握したが、今後はこれらの課題を念頭に置きながら、地山材料の影響等を加味した実験を実施し、さらに数値解析により、変形性能や耐荷力に関する検証を行う予定である。

なお、本研究は科学研究費補助金(21760378)の助成を受けて実施したものである。

参考文献

- 1) 真下英人：新潟県中越地震における道路トンネルの被害，トンネルと地下，第36巻，第11号，pp.55-63，2005.
- 2) 清水満，齊藤貴，鈴木尊，朝倉俊弘：新潟県中越地震による鉄道トンネル被害調査結果．トンネルと地下，第38巻，第4号，pp.49-57，2007.
- 3) 日下敦，真下英人，水川雅之，森本智：地震による山岳トンネルの地震発生メカニズムに関する基礎的研究，トンネル工学報告集，No.18，pp.15-21，2008.
- 4) 朝倉俊弘，志波由紀夫，松岡茂，大矢敏雄，野城一栄：山岳トンネルの地震被害とそのメカニズム，土木学会論文集，No.659/III-52，pp.27-38，2000.
- 5) Convergency compatible support systems, Tunnels & Tunneling International, June 2008, pp. 40-43, 2008.

EXPERIMENTAL STUDY OF TUNNEL STRUCTURE CORRESPONDING TO LARGE DEFORMATION

Nobuharu ISAGO, Hideto MASHIMO, Atsushi KUSAKA, Satoshi MORIMOTO and Katsunori KADOYU

Numbers of tunnel constructions under unfavorable ground condition have increased recently. Current tunnel structure itself cannot conform with large deformation when the large force from ground occurs and acts on the structure. The mechanical characteristics of the tunnel with the mechanism to assume to absorb the large force and correspond to the deformation were examined in this study through model test. Consequently, the existence of the mechanism influences on the relation between force and deformation, the position and occurrence load of cracks in structure and the strain over the structure is alleviated.