

Ⅱ期線トンネル設計・施工のための

I・Ⅱ期線の施工データの比較

THE RATIONAL DESIGN AND CONSTRUCTION METHODS OF THE 2ND STAGE TUNNEL BASED ON THE COMPARISON OF PARALLEL TUNNEL CONSTRUCTION RECORDS

青木宏一¹⁾・嵯峨正信²⁾・中川浩二³⁾

Koichi AOKI, Masanobu SAGA and Koji NAKAGAWA

In recent years, parallel tunnels for high way are often constructed in Japan. In this case, it is necessary to consider not only the stability of the 2nd stage tunnel construction but also the influence of the pre-excavated 1st stage tunnel. In addition, it is important to estimate the construction records of the 1st tunnel for the rational design and construction methods of the 2nd stage tunnel.

In this paper, the authors compare with the construction records of 15 sets of parallel tunnels which finished construction. The construction records include the tunnel support pattern, tunnel face observation records and convergence measurements.

Key Words : parallel tunnels, tunnel support, tunnel face, geological observations, convergence measurement

1. はじめに

近年、日本各地の高速道路において暫定2車線区間の4車線化工事が進められている。Ⅱ期線トンネル工事は、供用中のⅠ期線トンネルに隣接（トンネルセンター間距離30m程度）して施工されることから、Ⅱ期線トンネルそのものの安定性だけでなく、Ⅰ期線トンネルへの影響も考慮し、Ⅱ期線トンネルの設計・施工を行うことが極めて肝要である。

一般に、山岳トンネルの支保設計は、弾性波探査や地表踏査などの事前地質調査により地山分類がなされ、それに基づいて行われている。しかし、わが国の地質は複雑で変化に富んでいるため、線形構造物であるトンネルの地山状況を掘削前に十分に把握し、それに基づき最適な支保工を事前に設計することは困難といわれている¹⁾。そのため、山岳トンネルにおいては、「設計支保パターンと施工支保パターンが一致しない」などと指摘されており、掘削時の観察・計測結果より修正設計が行われ、地山状況に応じた支保を便宜選定しながら実際の施工は行われている。

本研究で対象とするⅡ期線トンネルでは、設計・施工を行う際にⅠ期線トンネルの施工データがあるため、事前に地山状況の把握が困難であったとされるⅠ期線時に比べ、あらかじめ適切な支保設計が可能であると考えられている。これまで行われたⅡ期線施工においても、Ⅰ期線施工データを参考にしてⅡ期線トンネルの設計・施工を行った事例が見受けられる^{例えば2)3)}。しかし、その有効性に関する定量的な評価は、これまでに十分に行われていないのが現状である。

本研究は、Ⅰ期線施工データをⅡ期線トンネルの設計・施工に活用させるという視点に立ち、設計・施工

1) 学生会員 修(工) 山口大学大学院 理工学研究科

2) 正会員 日本道路公団四国支社高松技術事務所

3) フェロ-会員 工博 山口大学教授 工学部社会建設工学科

支保パターン、切羽観察および変位計測データについて、これまでに施工が行われたⅠ・Ⅱ期線トンネルを比較し、その傾向の把握を行うことを目的とするものである。

なお、本研究では、表-1に示すように日本道路公団（以下、JH）が発注した双設型の高速道路トンネルのうち、暫定施工型の15組のトンネルを対象とした。ここで、暫定施工型とは1本目（Ⅰ期線）を施工後供用を開始した後、Ⅱ期線として2本目のトンネルを設計・施工する形態をとるものである。

2. 設計・施工支保パターンによる比較

本研究では、支保パターンを一般部のA、B、CI、CII、DI、DIIおよび坑口部に採用されるDIIIの7段階に分類し、Ⅰ・Ⅱ期線の設計・施工支保パターンの比較を行った。

(1) 支保パターンの一致率

Ⅰ・Ⅱ期線それぞれにおいて、トンネル施工延長に対する設計と施工支保パターンが一致した区間の総和の割合を一致率と定義し、Ⅰ・Ⅱ期線の比較を行った結果を図-1に示す。

図-1からわかるように、Nトンネルを除き、ほとんどのトンネルでⅠ期線よりもⅡ期線の方が、設計と施工支保が一致した区間が多くなっている。これは、観察・計測結果に基づき修正設計が行われ、地山に適合した合理的な支保が選定されたⅠ期線施工支保パターンを参考として、Ⅱ期線の支保設計が行われたことによるものである。したがって、Ⅱ期線の設計と施工支保パターンは、Ⅰ期線に比べその一致率は高くなったものと考えられる。

ここで、Ⅰ・Ⅱ期線の設計・施工支保パターンの例として、Ⅰ期線での一致率が61.3%、Ⅱ期線が77.9%と設計と施工支保パターンの一致率の向上がみられたCトンネルを図-2に示す。

Ⅰ期線施工時には、支保ランクが設計と比較して1ランクを超えるような変更区間がみられるが、Ⅱ期線施工時には、1ランクを超えるような変更はみられない。なお、一致率が向上した他のトンネル事例においても、Cトンネルと同様の傾向が認められる。

また、Ⅰ・Ⅱ期線それぞれにおいて、設計から施工にかけての支保パターンの変更幅の分布を図-3に示す。

図-3より、Ⅰ期線では変更幅が1～2ランクが多く、最大で4ランクの変更事例がみられたが、Ⅱ期線では変更幅

表-1 対象トンネル一覧

自動車道名称	トンネル名称	延長距離 (m)		主岩質
		Ⅰ期線	Ⅱ期線	
A自動車道	Aトンネル	1,324	1,307	砂岩、頁岩
	Bトンネル	570	556	砂岩、頁岩
	Cトンネル	644	628	砂岩、頁岩
	Dトンネル	773	800	砂岩、頁岩
B自動車道	Eトンネル	1,820	1,820	片麻岩
	Fトンネル	1,669	1,648	石英安山岩質凝灰岩
	Gトンネル	463	436	第三紀花崗閃緑岩
	Hトンネル	973	957	第三紀花崗閃緑岩
C自動車道	Iトンネル	2,211	2,305	凝灰岩
E自動車道	Jトンネル	2,610	2,650	砂岩頁岩
	Kトンネル	2,006	2,043	凝灰岩
	Lトンネル	683	676	凝灰岩
F自動車道	Mトンネル	477	476	黒色・緑色片岩
	Nトンネル	1,056	1,018	凝灰岩・凝灰角礫岩
	Oトンネル	2,311	2,299	凝灰岩

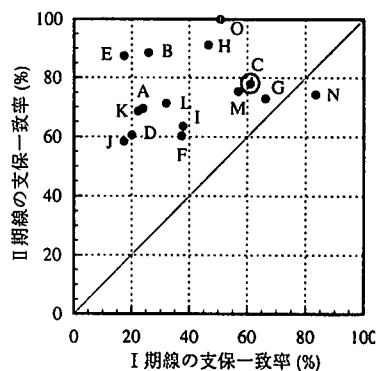


図-1 設計と施工支保の一致率

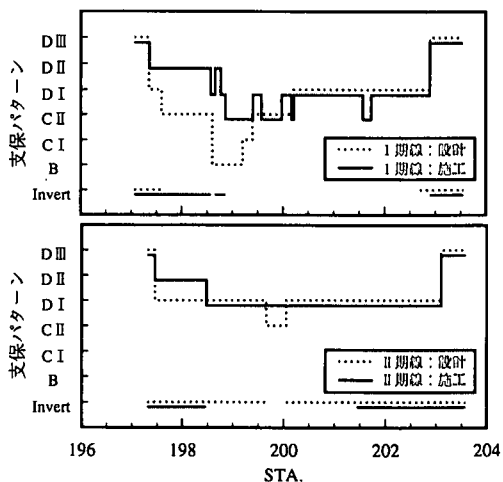


図-2 設計・施工支保の採用状況 (Cトンネル)

が1ランクでとどまっており、変更が行われたとしても、その変更幅は小さいものであることがわかる。

(2) 施工支保ランク値

本研究では、対象とした各トンネルにおける支保の重みを「支保ランク値」として定義する。支保ランク値とは、式(1)に示すように、支保パターンA～DIIIを1～7点と配点し、これに施工延長を考慮してトンネル全体の支保パターンの平均を求めた値である。I・II期線トンネルの施工支保ランク値を図-4に示す。

$$\text{支保ランク値} = \frac{1 \times L_A + 2 \times L_B + \cdots + 6 \times L_{D2} + 7 \times L_{D3}}{L} \quad (1)$$

$L_A, L_B, \cdots, L_{D2}, L_{D3}$: 各支保パターンの施工延長
 L : トンネル施工延長

図-4より、I・II期線を比べると、ほぼ同じ支保ランク値が得られており、全体的傾向として同程度の支保規模で施工が行われていることがわかる。また、地山状態を巨視的にとらえた場合、I・II期線は同一地山条件下で施工が行われていることが伺える。

(3) II期線トンネルの支保設計

II期線トンネルの支保設計は、I期線の施工支保パターンを参考にされる場合が多く、その結果、I期線に比べて施工支保パターンとの一致率も上昇する。また、支保変更が行われた区間においても、その変更幅は小さい範囲内におさまるものである。

したがって、II期線トンネルの支保設計は、坑口部やI期線で大変位が生じた区間については、別途検討する必要があるが、その他の区間については、I期線トンネルの施工支保パターンをそのまま適用しても差し支えないものと考えられる。

3. 切羽観察による比較

切羽に出現した地山を分類・評価することによって、設計時に行われた地山評価を照査し、出現した地山に適合するような支保工の選定や切羽対策工の要否を判断することを目的とし¹⁾、切羽観察は実施されている。

但し、JHにおける現在のトンネル切羽観察は、平成8年11月から全国試行導入された「新しい切羽観察手法」(以下、新切羽観察)により行われている⁴⁾。しかしながら、本研究における対象トンネルのほとんどが、新切羽観察導入以前に施工が行われているため、旧切羽観察手法(以下、旧切羽観察)が用いられている。そのため、表-2に示す旧切羽観察項目により、本研究ではI・II期線の比較を試みた。

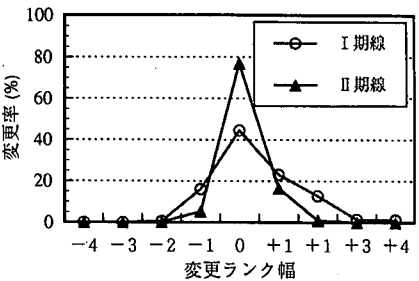


図-3 設計と施工支保の変更率

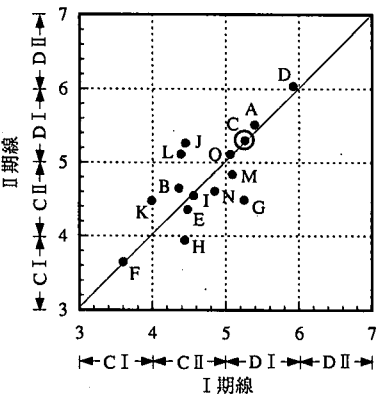


図-4 施工支保ランク値
(図中の文字はトンネル名を表す)

表-2 旧切羽観察手法の一部¹⁾

項目	評価内容	評価点と評価基準			
		1	2	3	4
A	切羽の状態	安定	鏡面が岩塊から抜け落ちる	鏡面の押し出しを生じる	鏡面は自立せず崩れあるいは流出
B	露掘面の状態	自立 (普請不要)	時間がたつとゆるみ抜け落ちる (後普請)	自立困難掘削後早期に支保する (先普請)	掘削面に先行して山を受けておく必要がある
C	圧縮強度	$\sigma \geq 1000 \text{ kgf/cm}^2$ ハンマー打撃はね返る	$1000 > \sigma \geq 200$ ハンマー打撃でくだける	$200 > \sigma \geq 50$ 軽い打撃でくだける	$50 > \sigma$ ハンマー先くいく込む
D	風化変質	なし・健全	岩目に沿って変色、強度やや低下	全体に変色、強度相当に低下	土砂状、粘土状、破碎、当初より未固結
E	割れ目の程度	間隔 $d \geq 1\text{m}$ 割れ目なし	$1\text{m} > d \geq 20\text{cm}$	$20\text{cm} > d \geq 5\text{cm}$	$5\text{cm} > d$ 破碎、当初より未固結
F	割れ目の状態	密着	部分的に開口	開口	粘土はさむ、当初より未固結
G	割れ目の形態	ランダム方形 	柱状 	層状、片状、板状 	土砂状、細片状、破碎、当初より未固結
H	湧水	なし、滲れ程度	滴水程度	集中湧水	全面湧水
I	水による劣化	なし	腐蝕を生ず	駄腐化	崩壊、流出

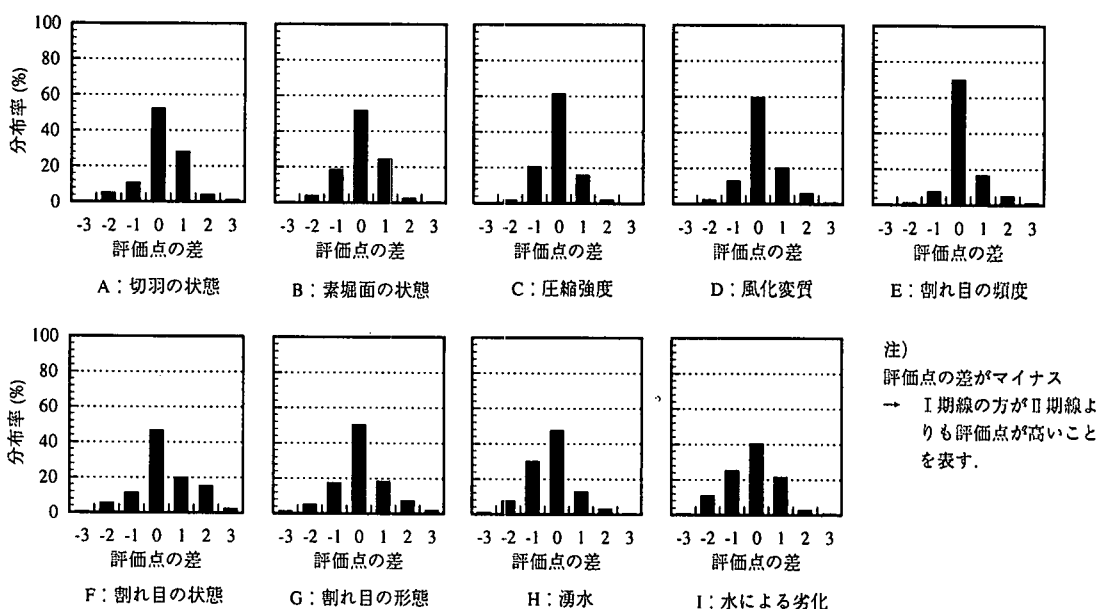


図-5 切羽観察項目ごとのⅠ・Ⅱ期線の評価点の差の分布

(1) 各切羽観察項目の評価点

全15トンネルのⅠ・Ⅱ期線について、切羽観察より得られた同じ切羽位置における各切羽観察項目のⅠ・Ⅱ期線の評価点の差の分布を百分率で表した結果を図-5に示す。

図-5より、旧切羽観察項目のA～G項目においては、Ⅰ・Ⅱ期線の評価点の差がみられない区間、すなわち地山状況がⅠ・Ⅱ期線で同じであると評価された区間が50%近くあり、地山状態に差異がみられないことがわかる。しかし、各切羽観察項目が4段階で評価されていることを考えると、評価点の差が±1点の場合が合わせて約40%もあることは、Ⅰ・Ⅱ期線で地山状況が多少異なることが予想される。この評価点の差は、以前より切羽観察の評価基準が、経験に基づき評価される傾向があり、そのため同じ切羽の観察を行っても個人差が生じやすいことに起因するものと考えられる。

次に、水に関する項目であるH、I項目については、評価点の差がマイナス側に多く分布しており、Ⅰ期線の方がⅡ期線に比べ、悪く評価される傾向がある。なお、水に関する項目については、後述する(3)において詳述する。

(2) 岩盤強度評価点

新切羽観察では、切羽評価点により地山状況を点数化することで、定量的な把握が行われている。これに対して、旧切羽観察は支保選定のための定性的な指標としての意味合いが強かったことから、切羽評価点のような定量的な指標がない。そこで、切羽評価点の代替として、本間らにより提案されている旧切羽観察9項目すべてを単純加算する評価手法も考えられるが、本研究においては、中田らにより新しい切羽評価システムの提案をする上で総合的な岩盤強度に対する評価項目として挙げている「圧縮強度」「風化変質」「割れ目の頻度」「割れ目の状態」に着目し、それぞれの評価点を単純加算した値を新たに岩盤強度評価点と定義し、Ⅰ・Ⅱ期線の比較を行った。

各トンネルにおけるⅠ・Ⅱ期線の岩盤強度評価点の平均値の比較を図-6に示す。

図-6より、多少ばらつきがみられるものの、Ⅰ・Ⅱ期線の地山評価が同じであることを示す直線上付近に分布している。このことは、Ⅰ・Ⅱ期線とも地山状態は同じであると推測された施工支保ランク値の結果と

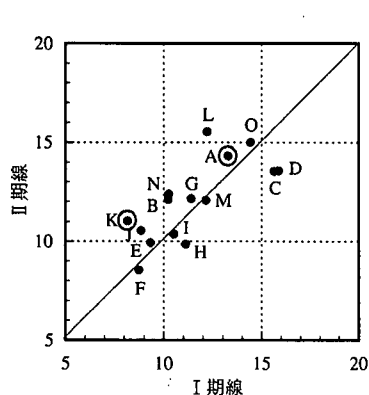


図-6 岩盤強度評価点の平均値の比較
(図中の文字はトンネル名を表す)

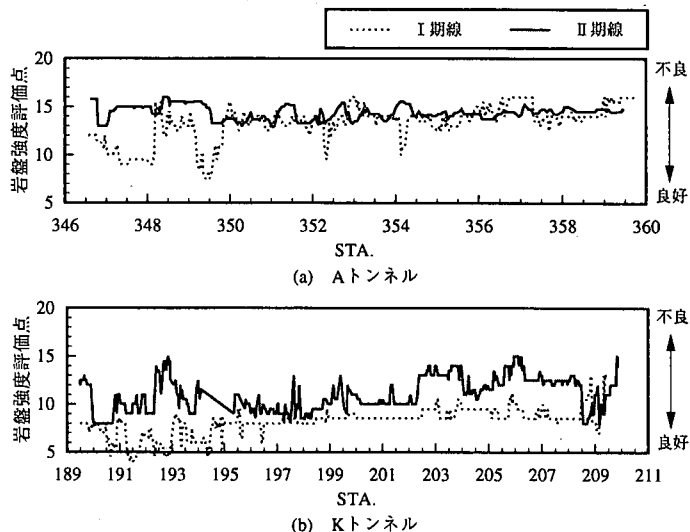


図-7 地山強度評価点の推移

一致する現象である。

ここで、岩盤強度評価点の推移の代表的な例 (AおよびKトンネル) を図-7に示す。

図-6において、I・II期線の岩盤強度評価点の平均値の差が1.05と比較的小さいAトンネルにおいては、I・II期線で部分的に大きく異なる評価がなされているが、全体として、ほぼ同じような地山評価が行われているといえる。一方、平均値の差が2.86と大きいKトンネルでは、トンネル全線にわたり、I・II期線の評価が大きく異なっている。この評価の差が、地山評価を行う技術者の個人差によるものについては、採用された支保パターンなどとも比較を行い、今後さらに検討を進めていく必要がある。

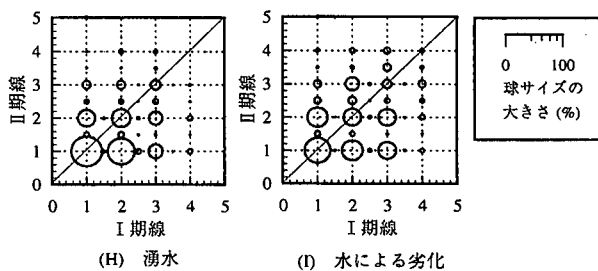


図-8 「湧水」「水による劣化」の評価点の分布

(3) I期線トンネルの水抜き効果

一般に、II期線トンネル施工の際には、I期線トンネルによる水抜き効果が期待されていることが多く、旧切羽観察項目のうち、水に関する項目、特に「湧水」の項目については、I期線に比べ、II期線の方が良い評価であることが予想される。

旧切羽観察項目の「湧水」と「水による劣化」について、I・II期線で比較行い、全トンネルについて、その分布状況を百分率で表したものを図-8に示す。

図-8に示すように、I期線の方がII期線に比べ、評価点が高い方に分布していることがわかる。特に「湧水」の項目において、I期線で3～4点と評価された区間をみると、II期線では同じ点数はついておらず、1点程度下がって評価されていることがわかる。このことは、図-5の各切羽観察項目の評価点の差の分布からも明らかである。

しかし、本研究で対象としたトンネルのI期線における湧水量が比較的少なかったことや、また湧水量は、立地条件・地質状況などに影響されることが多いことを考慮すると、II期線施工を行うすべてのトンネルにおいて、I期線による水抜き効果を説明するまでのデータに至っていない。このことについては、I期線で湧水が問題となった区間を対象とするなどして、その効果について引き続き検討する必要がある。

4. 変位（内空変位・天端沈下）による比較

切羽観察とともに、施工時の安全性や当初設計の妥当性の検討のために行われている内空変位・天端沈下に着目し、Ⅰ・Ⅱ期線の比較を行った。

Ⅰ・Ⅱ期線トンネルの内空変位および天端沈下の比較を図-9に示す。

図-9より、内空変位および天端沈下とも、Ⅰ・Ⅱ期線で発生する変位のオーダーは同程度であることがわかる。すなわち、Ⅱ期線施工時にもⅠ期線で発生した変位量とほぼ同様な変位が生じる可能性があるといえる。したがって、Ⅰ期線施工時に問題となるような変形が生じた区間、特に100mmを越えるような変位が生じた区間については、Ⅱ期線設計・施工を検討する際、変位を抑制するような対策を施す必要がある。

5. おわりに

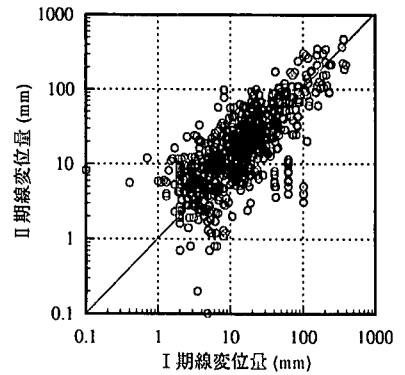
本研究では、これまでに施工が行われたⅠ・Ⅱ期線トンネルにおける設計・施工支保パターン、切羽観察および計測データ（内空変位・天端沈下）を比較し、その傾向の把握を行った。本研究の範囲内において、得られた知見を以下に列挙する。

- ① Ⅰ期線の施工支保パターンを参考としてⅡ期線の支保設計は行われるため、Ⅱ期線の設計と施工支保パターンは、Ⅰ期線に比べ一致率は高く、また支保パターンの変更が行われたとしてもその変更幅は小さい。
- ② 施工支保ランク値および岩盤強度評価点により、Ⅰ・Ⅱ期線の比較を行うと、その評価点は概ね同程度であったことから、基本的にⅠ・Ⅱ期線とも地山状態は同じであるといえる。
- ③ 水に関する切羽観察項目を比較すると、Ⅱ期線に比べⅠ期線の方が評価点が高く、一般的に期待されているⅠ期線トンネルによる水抜き効果が得られた。しかし、Ⅱ期線施工を行うすべてのトンネルにおいて、Ⅰ期線による水抜き効果を説明するまでのデータに至っておらず、この効果については引き続き検討する必要がある。

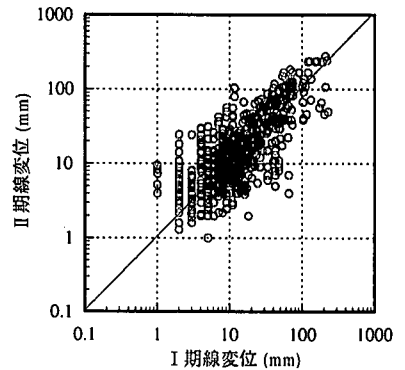
以上の結果を基に、今後はⅠ期線施工データをⅡ期線トンネルの設計・施工に活用させるため、さらに検討を進めていくつもりである。

【参考文献】

- 1) 土木学会：トンネル標準示方書〔山岳工法編〕・同解説
- 2) 田名瀬寛之、齊藤宏、上原希一郎：供用線近接の避難坑拡幅によるⅡ期線施工、北陸自動車道市振トンネル、トンネルと地下、第29巻3号、pp.15-23、1989.3
- 3) 高知自動車道明神トンネル詳細設計報告書、1996.2.
- 4) 中田雅博、三谷浩二、赤木渉：新しい切羽観察手法、ハイウェイ技術、No.9、pp.21-31、1997.12.
- 5) 本間宏記、栃木博、古川浩平、中川浩二：双設トンネルの施工実績に基づく地山評価と補助工法の採用特性に関する研究、土木学会論文集、No.553/VI-33、pp.21-31、1996.12.
- 6) 中田雅博、三谷浩二、八木弘、西塚郎、西村和夫、中川浩二：観察記録の分析に基づく新しいトンネル切羽評価システムの提案、土木学会論文集、No.623/VI-43、pp.131-141、1999.6.



(a) 内空変位



(b) 天端沈下

図-9 内空変位および天端沈下の比較