

小土被りトンネルにおける 地震時挙動に関する研究

Study on behavior of lining during earthquakes in shallow tunnel

朝倉俊弘¹・小島芳之²・野々村政一³・宮林秀次⁴・磯谷篤実⁵

Toshihiro Asakura, Yoshiyuki Kojima, Masaichi Nonomura, Hidetsugu Miyabayashi
and Atsumi Isogai

¹正会員 京都大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻 教授 (〒615-8540 京都市西京区京都大学桂)

²正会員 鉄道総合技術研究所 構造物技術研究部トンネル研究室長 (〒185-8540 東京都国分寺市光町
2-8-38)

³正会員 鉄道・運輸機構 鉄道建設本部設計技術部設計技術第二課長 (〒231-8315 横浜市中区本町
6-50-1)

⁴フェロー会員 鉄道・運輸機構 鉄道建設本部計画部長 (〒231-8315 横浜市中区本町6-50-1)

⁵正会員 鉄道・運輸機構 鉄道建設本部設計技術部設計技術第二課担当係長 (〒231-8315 横浜市中区
本町6-50-1)

E-mail: a.isogai@jrtr.go.jp

It is generally said that mountain tunnels are little damaged by earthquakes. However, recent case studies of the damage of mountain tunnels caused by earthquakes also show that they are likely to be damaged when 1) the scale of earthquake is large, 2) there are earthquake faults near the tunnel or 3) there are special conditions. We paid attention to shallow tunnel among damage patterns and measured behavior of lining in Shinkansen tunnel. The earthquake vibration measured in 17 months was about 5 gal degree at the maximum, and the strain was 0.5-1 μ . However, comparing each strain by the time, we could grasp the behavior of the tunnel.

Key Words : mountain tunnel, earthquake, shallow tunnel, lining

1. はじめに

一般に山岳トンネルは、耐震性に富む構造物とされている。しかし、①地震規模が大きい、②地震断層面からの距離が近い、③特殊条件(不良地山、地震断層の存在)が介在するなどの条件の場合には甚大な被害を受ける場合もあることが吉川ら¹⁾の研究により示されている。

近年の地震被害をみると、1995年兵庫県南部地震では、被災地内の100本を超える山岳トンネルのうち20本余りのトンネルがひびわれなどの被害を受けており²⁾、また、2004年新潟県中越地震では、被災地内の138本の山岳トンネルのうち49本のトンネルで被害を受けている³⁾。これらの震災により被災したトンネルの多くは、覆工コンクリート表面のひびわれなどの軽微なものであるが、な

かには覆工コンクリート片の崩落等の大規模な補修・補強工を必要とした事例もみられた。

山岳トンネル覆工の地震被害パターンは、これまでの研究で①坑口部、小土被り部、②不良地山区間、③断層のずれの3つのパターンに大別されることが示されている。また、これらの3つのパターンについて数値シミュレーションや模型実験により被害発生メカニズムについて考察されている²⁾。

本報告は、これらの被害パターンのうち小土被りトンネルに着目し、トンネルの地震時における挙動を解明することを目的として、新幹線断面の実トンネルにおいて計測を行った結果をとりまとめて考察を加えたものである。

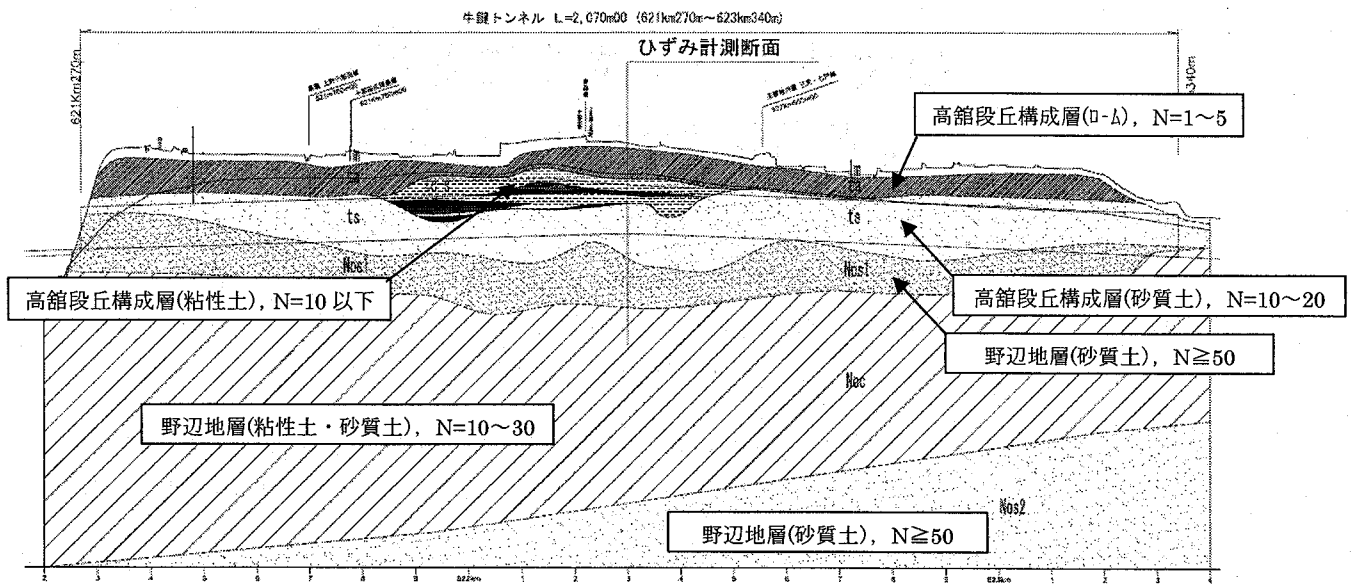


図-1 牛鍵トンネルの地質状況

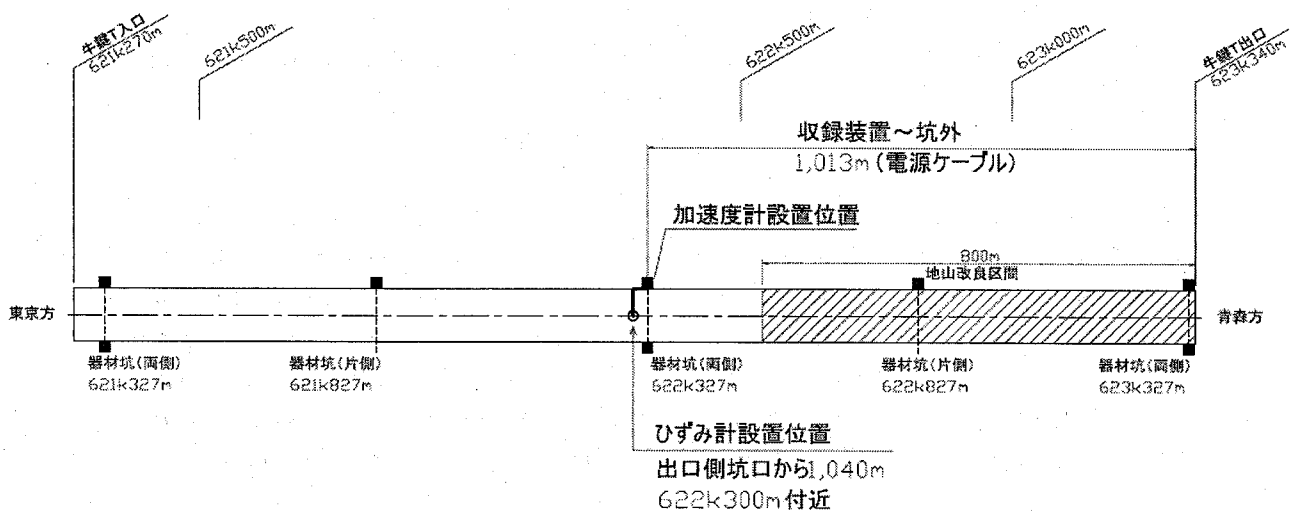


図-2 計測機器設置平面図

2. 地震時挙動の計測方法

(1) 牛鍵トンネルの概要と地質状況

計測を行った牛鍵トンネル(全長2,070m)は、現在建設中の東北新幹線(八戸・新青森間)のうち、全線に渡って土被りがほぼ1D以下(D:トンネル掘削外径)の小土被りの山岳トンネルである。計測は、牛鍵トンネルのほぼ中央付近の巻厚30cmの無筋覆工コンクリートの区間で実施した。

図-1はトンネル周辺の地質状況を示したものである。牛鍵トンネルのある青森県東部は、第四紀更新世に形成された台地が広く分布しており、当該地も標高40m程度の台地である。計測断面付近の地質は、高館段丘構成層の粘性土、砂質土からなり、トンネル底面以深は野辺地層の砂質土、粘性土で構成されている。高館段丘構成層のN値は、粘性土層では、10以下を示

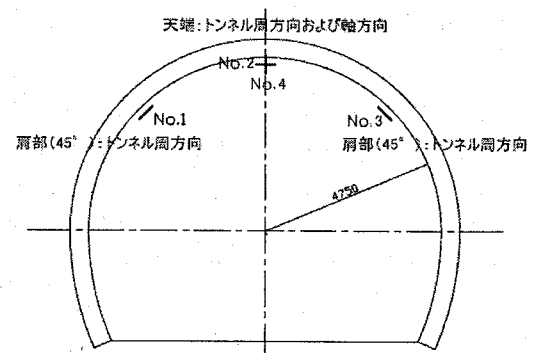


図-3 ひずみ計設置断面図

しており、砂質土では、10~20を示している。野辺地層のN値は、砂質土層では、50以上を示しており、粘性土層では、20~30程度を示している。

表-1 牛鍵トンネルにおける地震計測結果

No.	名 称	地震発生月日	地震発生時刻	マグニチュード	深さ(km)	震央距離(km)	牛鍵トンネルでの最大加速度(Gal)			周辺の強震記録					
							X成分 (縦断方向)	Y成分 (横断方向)	Z成分 (鉛直方向)	K-net (Gal) (三沢)			K-net (Gal) (十和田)		
										NS	EW	UD	NS	EW	UD
No.1	岩手県沖	2006年3月12日	7:07	M:5.0	35	151	2.5	3.6	3.3	13.1	19.0	9.4	4.4	4.4	2.5
No.2	岩手県沖	2006年7月6日	2:09	M:5.4	36	147	3.0	4.1	2.9	11.7	12.3	6.7	6.4	6.0	2.9
No.3	千島列島東方	2007年1月13日	13:24	M:8.2	30	1687	3.7	3.6	2.7	8.1	9.3	6.1	4.6	4.6	2.4
No.4	十勝沖	2007年2月17日	9:03	M:6.2	40	301	1.8	2.1	1.3	6.0	5.5	2.5	2.6	2.0	1.2
No.5	胆振支庁中東部	2007年4月19日	0:08	M:5.6	126	233	2.7	2.9	2.4	14.1	12.6	5.8	—		
No.6	青森県東方沖	2007年5月19日	1:00	M:5.3	67	133	4.0	5.1	3.3	17.9	19.2	16.1	6.4	5.9	3.3
No.7	根室支庁北部	2007年7月1日	13:13	M:5.8	132	517	3.0	3.1	1.8	11.6	12.6	5.4	2.9	3.8	1.8
No.8	京都府沖	2007年7月16日	23:18	M:6.7	374	804	2.1	3.2	1.7	7.7	9.0	14.2	3.2	3.0	1.4

表-2 応答スペクトル

No.	名称	地震発生月日	地震発生時刻	マグニチュード	深さ(km)	震央距離(km)	フーリエスペクトル分析による周期(sec)		
							X軸	Y軸	Z軸
No.1	岩手県沖	2006年3月12日	7:07	M:5.0	35	151	0.29	0.73	0.29
No.2	岩手県沖	2006年7月6日	2:09	M:5.4	36	147	0.93	0.18	1.02
No.3	千島列島東方	2007年1月13日	13:24	M:8.2	30	1687	0.16	0.16	0.29
No.4	十勝沖	2007年2月17日	9:03	M:6.2	40	301	0.07	0.09	1.03
No.5	胆振支庁中東部	2007年4月19日	0:08	M:5.6	126	233	0.09	0.10	0.23
No.6	青森県東方沖	2007年5月19日	1:00	M:5.3	67	133	0.18	0.12	0.12
No.7	根室支庁北部	2007年7月1日	13:13	M:5.8	132	517	0.13	0.13	0.13
No.8	京都府沖	2007年7月16日	23:18	M:6.7	374	804	1.71	1.28	0.29

(2) 計測システム

図-2 は計測機器の設置平面図を、図-3 はひずみ計の設置断面図を示したものである。ひずみ計は、無筋覆工コンクリートのスパンの中央付近に、横断方向3箇所、縦断方向(天端)1箇所設置した。計測システムと加速度計は、ひずみ計設置箇所の近傍にある器材坑内に設置した。加速度計は、3成分の加速度計とし、トンネル縦断方向がX成分、横断方向がY成分となるように設置した。地震波形およびひずみ計の計測データは、加速度計の1成分でも1gal以上の振動を検知した場合に記録するようにトリガーを設定した。

3. 地震計測結果

(1) 観測された地震動

本計測は、平成18年2月26日から実施しており、平成19年8月3日までの計測結果について整理を行った。この計測期間中に東北地方では、震度1以上の有感地震が51回発生している。これらのうち、牛鍵トンネル内に設置した加速度計で震度1相当以上を記録した地震の計

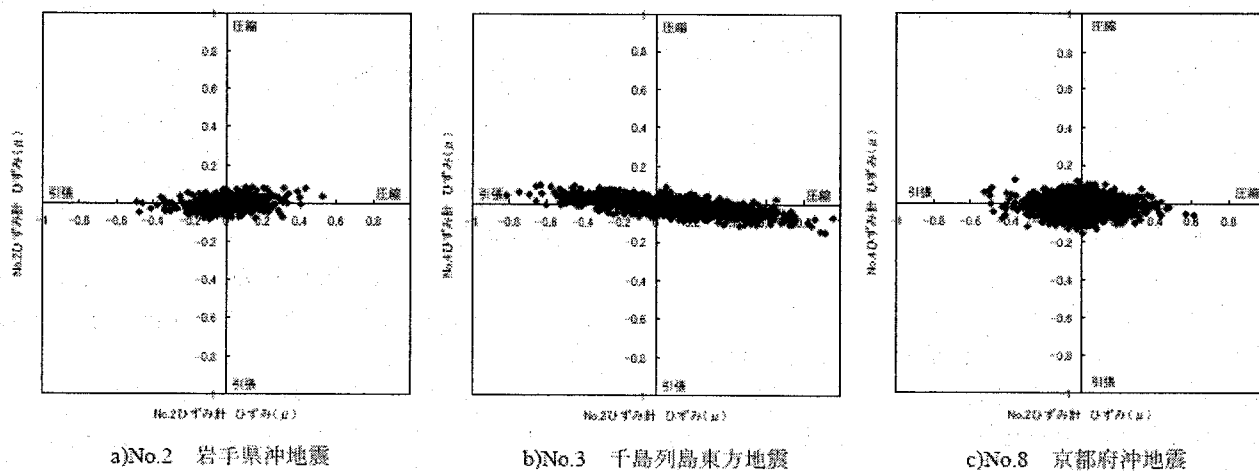
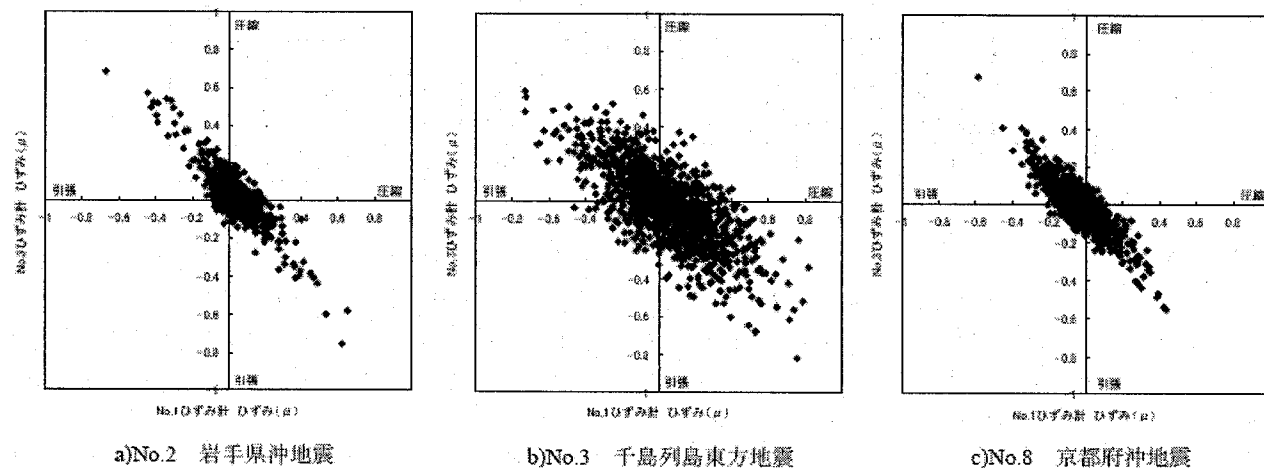
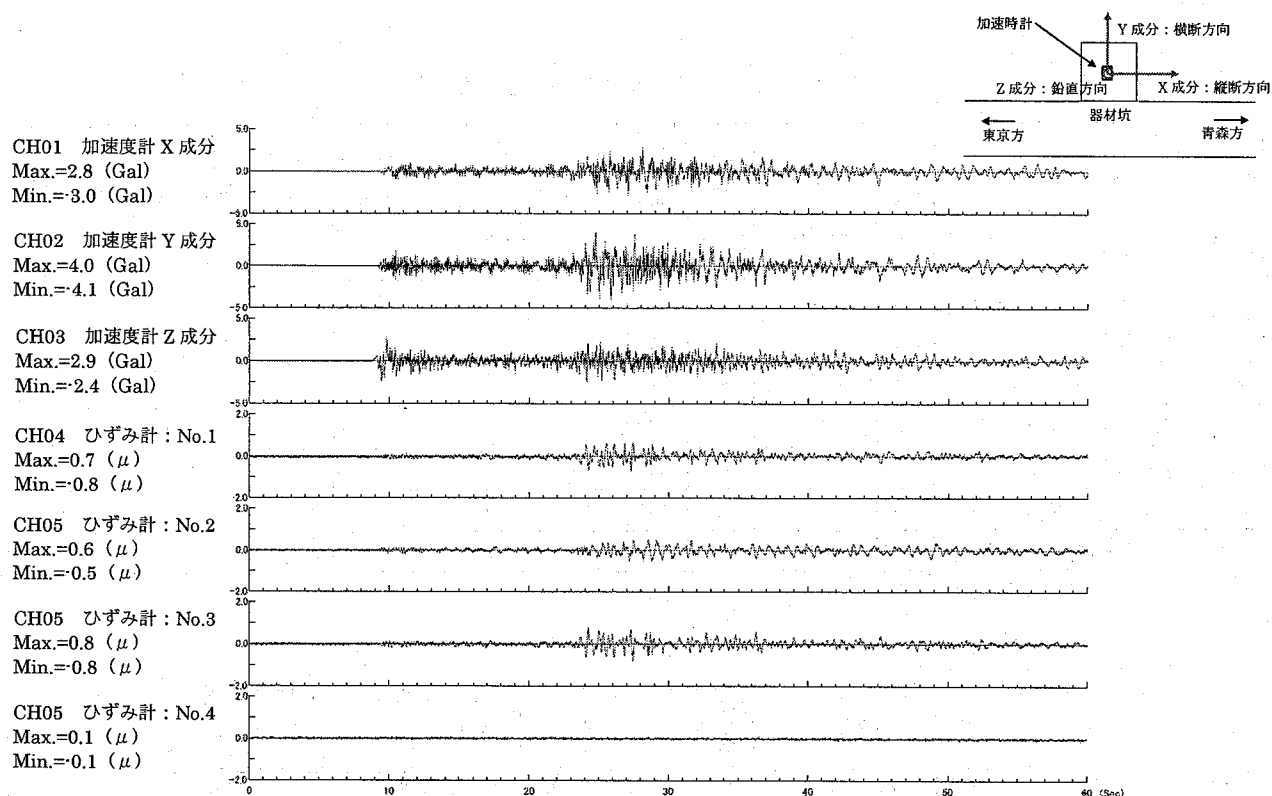
測結果を表-1に示す。表-1には、牛鍵トンネル周辺に設置されている防災科学技術研究所の強震ネットワーク(K-net)の最大加速度をあわせて示した。なお、牛鍵トンネルの加速度計から推定した震度は、震度1~2であった。

牛鍵トンネル内における最大加速度と地表部に設置されたK-netによる最大加速度を比較すると、トンネル内で計測された最大加速度の方がK-netによる最大加速度より概ね小さな値となっている。

震源からの距離や加速度計の設置された地盤状況により最大加速度を直接的に比較することは難しいと考えられるが、一般的に言われている、地表の構造物と比較して地中構造物であるトンネルは地震による影響が小さいことを示唆させる結果であった。

表-2は、表-1で示した地震記録のフーリエスペクトルによる分析結果から得られた各成分の周期を示したものである。

フーリエスペクトルによる分析から、計測された地震動の周期は、X成分で0.07~1.71(sec)、Y成分で0.09~1.28(sec)であった。



(2) 地震時のトンネルの挙動

図-4 は、地震観測の一例として平成 18 年 7 月 6 日岩手県沖地震の記録波形とひずみを示したものである。岩手県沖地震のひずみ計データをみると、トンネル縦断方向のひずみ計 (No.4) のひずみは、他のひずみ計のそれより小さく、縦断方向には大きな変位がみられない。この計測結果は、表-1 に示したすべての地震の地震動で共通していた。

図-5 は、アーチ左右両肩部の横断方向ひずみ計 (No.1, No.3) のひずみ分布の例を示したものである。この図は、同時刻におけるアーチ肩部のひずみの計測結果をプロットしたものである。この図より同時刻におけるひずみの符号が反対になっていることがわかる。すなわち、ひずみ計 No.1 が圧縮ひずみを示したときに、No.3 は引張りひずみを示している。

図-6 は、アーチ天端部に設置したひずみ計 No.2 (横断方向) と No.4 (縦断方向) のひずみ分布の例を示したものである。この図より、横断方向のひずみがプラスからマイナスに推移しても、縦断方向のひずみに大きな変化がみられないことが言える。

これらの結果から、地震動を受けたトンネルにおいて、横断方向には縦断方向に比較して大きなひずみが発生していることがわかる。また、縦断方向に地震動がある場合でも、目地で変位を吸収するため、覆工コンクリートにはほとんどひずみが発生しないことがわかる。

4. おわりに

小土被り部における山岳トンネルの地震時の挙動を把握することを目的として、東北新幹線牛鍵トンネル内に設置した地震計とひずみ計による計測を実施した。

平成 18 年 2 月～平成 19 年 8 月までの期間に東北地方で震度 1 以上の有感地震は 51 回発生している。

これらの地震の内、牛鍵トンネルにおいて計測された震度 1 以上の地震動は、合計 8 回記録されてお

り、これらを対象として、トンネルの変位変形挙動に着目した整理を行った。これらの計測の結果をまとめると、以下のとおりとなる。

- ①トンネルの近傍で発生した岩手県沖、十勝沖地震では、トンネルの横断方向からのせん断波が伝達され、トンネル横断方向のひずみが大きく、縦断方向へはほとんどひずみの発生がみとめられない。
- ②千島列島東方地震では、せん断波が斜め方向から入射したことにより、トンネル横断方向のひずみも大きい。縦断方向のひずみも地震動に連動する挙動を示した。
- ③トンネル左右肩部のひずみ計のひずみの挙動は、左側が圧縮ひずみのときに右側が引張りひずみとなり、また、その逆に左側が引張りひずみのときに右側が圧縮ひずみとなる挙動が確認された。

今回計測された地震動は、最大で 5gal 程度のものであり、計測されたひずみも 0.5~1 μ と小さな値であった。しかし、各ひずみ計の同時刻におけるひずみの波形を比較することでトンネルの挙動をある程度とらえたものと判断される。

現段階では、8 ケースと少ないケースでの分析であるため、今後もデータを蓄積し小土被り部における山岳トンネルの地震時挙動の分析を行いたい。また、これらの計測結果を参考として山岳トンネルの耐震対策および耐震設計等の検討を実施したい。

なお、本研究は、鉄道・運輸機構基礎研究制度によるものである。

参考文献

- 1) 吉川恵也：鉄道トンネルの震災事例調査，鉄道技術研究報告，No.1123，1979.9
- 2) 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.27-38，2000.9
- 3) 土木学会トンネル工学委員会新潟県中越地震特別小委員会報告書，2005.6.