

(28) 地下開発利用に関する外部環境の検討

— 地盤沈下と環境システム(第4報) —

AN EXAMINATION OF OUTSIDE ENVIRONMENT IN UNDERGROUND DEVELOPMENTS
AND UTILIZATIONS

— ENVIRONMENTAL SYSTEMS FOR SUBSIDENCE ENGINEERING (4TH REPORT) —

江崎哲郎*, 堂園俊多*, 相川 明*, 木村 強**,
Tetsuro ESAKI, Shunta DOZONO, Akira KIKAWA, Tsuyoshi KIMURA

ABSTRACT; In this research, the environmental elements, which must be considered in underground developments, are divided into inside influences and outside influences, the latter being classified into direct and indirect ones. The relationship between ground movements and damages of surface structures is discussed as an example in detail. As a result, the following two difficulties are clarified. (a) Because it is too difficult to give a definition of damage, "Standard of damages" must be select though it refers only to a part of the total damage. (b) The factors which cause damages are various, and it is hard to judge which factor has influenced on structures greatly. Then, most of damage events in the past cannot be directly related to ground movements and most environmental evaluation in underground developments is only made by calculation of the prediction values of ground water level change and subsidence and so on. In addition, the limitation of subsidence is vague and the influence on various natural and social environments is not considered. If some degree of ground movement occurs at a certain area, the impact on natural and social environments must be also evaluated and the limitation of environmental impact must be decided in harmony with natural and social environment.

KEYWORDS; subsidence, underground utilization, ground environment, environmental impact assessment.

1. 地下空間開発における内部環境と外部環境

自然と人間との相互依存関係を把握し、両者の共生的調和を実現するためのシステムを構築する場合、まず第一に、人為的な開発行為とそれによる影響との関係を明確にする必要がある。このことは、地上のみならず地下の開発にとっても当然のことと考えられるが、地下は地上と隔離された空間であるため、地下開発は地上の開発に比べて、自然・社会からの制約がかなり少ないと言われている¹⁾。人間の主たる活動空間以外に地下が属することを考えると、これは自明のことと思われる。しかし、地下の特性を考えると、必ずしもそうであるとは言えない面も多いと考えられる。以下制約が少ないかどうかについて検討してみよう。

地上の場合、開発の影響は比較的関知し易い地表の空間を媒介として周囲に伝播され、影響に対する対応もまた人の目につき易い地表空間で展開される。一方、地下開発の影響は、透視の不可能な、極めて密度の高い隔離された地盤を介して周囲に伝えられるため、その伝播速度は比較的遅く、人の目につきにくい。両者の差異は、自然・社会からの制約が少ない状況下で開発できるという地下の利点を示すようでありながら、逆に、環境影響の伝播が視覚的に把握しにくいいため、ある程度の時間を経過して影響が広範囲に及んだ後、

*九州大学工学部環境システム工学研究センター Institute of Environmental Systems, Faculty of Engineering, Kyushu University
**国立環境研究所 National Institute for Environmental Studies

初めて周囲に知覚されるという状況が生じることが危惧され、現にそのような例が数多く報告されている。

また、地下開発による影響の伝播形態は、地表では地表沈下のように平面的な広がりであるが、地下では開発された地下空洞を中心とした三次元的広がりをもつ。この点は特に、地下空間を高密度で利用する場合重要な問題となる。これらの点に加えて、地下は一旦開発を行うと元の状態に戻すことが困難であるという不可逆性を有する。

以上の点を踏まえると、地下開発が環境に与える影響の範囲及びその伝播形態について明確に把握しておく必要がある。このような観点から、まず最初に、地下開発により生み出された空間内部に関するものを内部環境、その周囲にあつて地下開発による影響の及ぶ範囲に関するものを外部環境と定義し、地下空間利用全般にわたってその両者の位置づけを行いたい。

最初に内部環境とはどのような環境要素を含むのかを列挙すると、①気象(冷暖房・湿気調整・通気・換気などの空調、粉塵、火災時の煙制御など)、②照明、採光、③水(浸透してくる水)、④騒音、⑤防災施設(避難誘導システムなど)、⑥人間心理(災害時における心理など)のような要素が考えられるが、総じて、閉鎖空間の快適性に必要な要素が内部環境の構成要素となる。

地下空間の利用形態には、有人から無人のものまで様々なレベルのものがある。その中で主に有人の地下空間に対して、このような内部環境が問題となるが、注意すべき点は、地下を交通目的として使用するか、あるいは居住のためであるかなど、人間と地下空間の密接度によって要求される内部環境の質が異なるという点である。しかし少なくとも有人の地下空間においては、地下は地上と比較して閉鎖的な空間であるため、防災施設には格段の注意が払われねばならない。

次に外部環境の構成要素について述べる。外部環境とは、内部環境の周囲にあつて地下開発による影響の及ぶ範囲に関するものと先に述べたが、このような影響範囲を線引きすることは至難である。そこで地下開発の影響を、直接的なものと間接的なものに大別し、構成要素を列挙して、外部環境の全体像を把握する。

Table.1 Outside environmental elements in underground developments.

直接的	間接的
○ 地下水 (水位低下、漏水、湧水、 遮水、井戸枯れ、湿地化、 流況阻害 等)	○ 地上の自然環境
○ 地盤 (沈下、地すべり、地表陥没、 地盤移動 等)	○ 地上の生活・社会環境
○ 水質	○ 周囲地盤の耐震性
○ 振動・騒音	
○ 排気ガス	

地下開発により直接的・間接的影響を受ける要素の代表的なものをTable.1に示す。地下開発のための地下水汲上げによる地盤沈下や地表陥没、地下構造物による地下水流動阻害など、地下水や地盤は直接的影響を受ける外部環境の主たる構成要素といえる。また、施工に伴う機械類の振動・騒音、排気ガス等も、施工中に限られるとはいえ直接的影響を受ける要素であろう。

一方、間接的に影響を受ける要素としては、地上の自然・社会環境がある。例えば、地盤移動が生じると、地上の自然・社会環境は様々なインパクトを受ける。あるいは都市部で地下開発を進めた場合、新たな都市機能を地下に担わせたことによって、地上の土地利用形態が影響を受ける面も多いであろう。また地下構造物の輻輳による周囲地盤の耐震性なども、間接的影響を受ける要素として挙げることができる。

以上をまとめると、地下空間における外部環境とは、(1)直接的に開発の影響を受ける 地盤・地下水環境、(2)間接的に開発の影響を受ける 自然環境・社会環境、の二つに大別することができよう。ここで注意すべきことは、直接的影響を受ける地盤・地下水の変動を原因として、間接的に自然・社会環境へ影響が及ぶ点は明確であるが、両者の関係は必ずしも比例していないこと、加えて地盤・地下水変動は工学的に評価可能であるが、それらの変化による間接的影響は、数量的に表現しにくいということである。地下開発に際して環境評価を行う際には、むしろ自然・社会環境への影響が中心となるべきことを考慮すると、地盤・地下水環境と自然・社会環境との関係を明確にすることは重要な課題である。

以下2章では、自然・社会環境を構成するもののひとつとして地表構造物を取りあげ、その損傷について考えてみる。

2. 地盤移動と構造物の損傷

地盤移動と構造物の損傷とを関係づける場合、ひとつの方法として過去に生じた事例を多数検討することにより、基準値を経験的に示すことができる。しかし、損傷が生じたと認められる物件があり、そこである程度の地盤移動が認められた場合、損傷の原因が地盤移動にあると言えるのか、また、何をもちて損傷と定義するのか、の2点について注意する必要がある。まず前者について整理したい。

2. 1 構造物の損傷要因

構造材料に許容応力を超過する荷重が加わるか、ある応力下で構造材料に劣化が生じた場合、その結果として損傷が生じる。すなわち、まず構造材料自体の特性があり、それに対する外的作用があつて、それら両者の影響を受けて損傷が生じる。この点を踏まえて、構造物の損傷要因を、(A)構造物自体の特性、(B)構造物に与えられる外的要因の2つに分け、以下の節でそれぞれ整理する。

(A) 構造物自体の特性に及ぼす影響

(1)設計不良：設計荷重・地盤状態・構造材料の誤った選択など、(2)施工不良：悪天候での作業、好ましくない構造材料・充填材料の使用など、(3)品質低下、(4)維持管理の軽視などである。

(B) 構造物に損傷を与える外的要因

代表的なものに地震があり、同種のものとして発破等による人為的な振動が挙げられる。一方、静的な荷重(積雪荷重や過度な床荷重など)が構造物に損傷を与える場合もある。これらに地下開発による地盤移動を加えて、主な外的要因としては振動、静的荷重、地盤移動の3つを挙げることができる。

異なる要因により損傷が生じるのであるから、本来その形態も異なるはずであるが、過去の研究を見る限り、生じた損傷の形態は多くの場合似通っている。地盤移動による壁面の損傷の程度を、修復の難易度をもとに、5段階に表示したものをTable.2に示す。表は損傷を評価したものであるが、これに用いられている表現と同等のものが、修正メルカリ震度階の中にも見られる。この震度階は、地震による構造物の被害をもとに、地震の強さを評価するものであるが、その中で用いられている「壁土にひびが入る」「煙突が壊れる」「骨組構造物が傾く」などの表現は、Table.2の損傷の場合の表現によく似ている。

同様の表現が発破振動や積雪による被害においても見られる。このように、異なった外的要因でも似通った損傷が生じるため、また外的要因として複数のものが作用することが多いため、損傷の原因を同定することは困難である。すなわち発生した損傷事例と地盤移動を即一対一で対応させて評価することには問題がある。

しかし一方では、これまでも各国で地盤移動に関する限界値が提唱されており、それらの中には、損傷の基準となるものと損傷を評価するための項目とを独自に選定し、両者の関係を考慮して限界値を定めたものもある。これは前述の「損傷の定義」を明確にすることが困難なため、「定義」に代わるものとして損傷の基準となる要素を抽出したのであろう。

Table.2 Classification of visible damage to walls with particular reference to ease of repair of plaster and brickwork or masonry²⁾.

損傷段階	典型的損傷例(修復の難易度下線)	亀裂幅
ごく軽微	通常簡単に修復し得る細かい亀裂。亀裂が難れればなれに生じる程度。よく観察すれば表面的な亀裂が認められる。	≤1mm
軽 微	亀裂は容易に塞ぐことができる。修復可能。構造物内部にも僅かに亀裂が進展している。亀裂は視覚的に確認できる。雨漏りを防ぐため、所々修復を必要とする。ドアや窓の立付けが悪くなるものもある。	≤5mm
中 程 度	亀裂が広がって穴のあくものもある。石膏等を用いた充填修復が必要である。亀裂の進展を防ぐために適切な処理が必要である。煉瓦造りの構造物に対しては外面的な修復が必要であるし、所々は取り替えた方がよい。ドアや窓の立付けが悪くなる。導管類に亀裂が入るものもある。雨漏りがしばしば生じる。	5~15mm (大部分は3mm以上)
重 度	壁の取り替え、取り壊しを含む広範囲に及ぶ修復が必要。特にドアや窓ガラスの取り替えが必要。ドアや窓ガラスの枠が歪められ、床の傾きが感知される。壁の傾きや膨らみが感知される。梁の耐荷力が失われ壊れるものもある。導管は使用不可能になる。	15~25mm (亀裂の数による。)
非常に重度	部分的もしくは完全な改築を含む大規模な修復事業が必要。梁は耐荷力を失い、壁は著しく傾き支柱等で保持する必要がある。窓は歪められ壊れる。構造物自体の安定性が危うい状態となる。	一般的に25mm以上 (亀裂の数による。)

3. 損傷の評価とその限界基準

3. 1 損傷の評価法について

構造物の損傷は、広義には構造物の価値減少を意味するが、具体的に定義することは難しい。損傷の程度は、構造物の有用性や安定性をもとに、外面的、機能的、構造的の3つの観点から把握できる。しかしながら、構造物の果たす役割は様々であり、それらを機能、構造、外観の単純な項目に分けることは難しく、主観に頼らざるを得ない。

ひびわれや破壊現象であれば、視覚的に把握できるが、外観や機能に影響を及ぼさない程度の損傷は評価しにくいものである。たとえ、視覚的に損傷を確認できても、構造物全体の損傷程度を定量的に評価することは困難である。

前章のTable.2 に損傷程度を評価した例を示したが、この分類は特定の構造物の修復には役立つかも知れないが、設計に有効な情報を与えてくれるものではない。また、判断基準が曖昧なため、実際に損傷を受けた構造物があっても、それがいずれの段階に属するかは判断に迷うであろう。

上述のことは、損傷を評価する際の方向性を示している。すなわち、分類法や評価法は、使用目的や用途、対象構造物、要求される精度により、手法自体が異なるものであり、また、何をもちて損傷とするのか、また主体が何であるかによっても異なってくる。評価基準作成には、まず、評価基準の使用目的・対象・主体を明らかにし、要求される精度を定めねばならない。次に、いかなる評価項目をもとに、何を判断するのかを明らかにし、評価基準の構造をあらかじめ定義する必要がある。また設計・施工に活用するものであれば、設計・施工に利用できる形で、しかも客観的に結果を得ることが必要といえる。

3. 2 従来の損傷評価基準の比較

損傷に関する従来の評価法について、その観点と方法、問題点について検討してみる。一般に用いられる損傷基準としては各種のものがあるが、使用する評価項目別に分類すると、次の4つに大別できる。

(A) 沈下量に基づく基準： 地盤移動が沈下の場合には、損傷原因は不等沈下にあることが多い。不等沈下により構造物に変形が生じ、構造物の構造や機能に影響を与える。したがって、何らかの被害が発生

Table.3.1 Standards of damage on subsidence values.

提案者	地盤	独立基礎の場合		べた基礎の場合		連続基礎の場合		
		不等沈下	全沈下	不等沈下	全沈下	不等沈下	全沈下	
Terzaghi, Peck(1948)	砂	2.0 cm	2.5 cm	2.0 cm	2.5 cm			
Skempton, McDonald (1956)	砂	3.17 cm	5.0 cm	3.17 cm	5-7.5cm			
	粘土	4.44 cm	7.5 cm	4.44 cm	7.5-12.5			
Matsuura, Haga (1977)	粘土	3.0 cm	15.0 cm	4.0 cm	20.0 cm	2.0 cm 4.0 cm 4.0 cm	4.0 cm 20.0 cm 20.0 cm	コンクリート・ブロック造 RC7-メ RC壁

Table.3.2 Standards of damage due to deformation of structures.

提案者	評価項目	基準値	目的や対象構造物
Meyeroff (1953)	傾斜角	1/300 1/1000	隣接するRC基礎の不等沈下損傷 むきだしの鉄骨構造の損傷
	傾斜	1/200	連続基礎の支持壁の損傷 沈下量/柱間長で沈下量を単位長さに換算して損傷評価する。
Skempton, MacDonald (1956)	傾斜角	1/150 1/300 1/500 1/1000	骨組構造の損傷(支柱や梁) 骨組構造の損傷(基礎の支持壁) ひびわれ防止のための設計基準 あらゆる沈下損傷防止の基準
Polshin, Tokar (1957)	傾斜角	1/200 1/500	むき出しの骨組構造 充填された骨組構造
	傾斜	1/3300 1/2500 1/2000 1/4000	砂地盤 L/H<3 粘土地盤 L/H<3 砂地盤 L/H<5 粘土地盤 L/H<5 地盤特性2種類と構造物の縦横の寸法比(L/H)2種類を考慮した。
Grant, Christian, Vanmarcke (1974)	傾斜角	1/300	基礎を持つ骨組構造物
O'Rourke, Cording, Boscardin (1977)	傾斜角	0.001 0.001~0.003 0.003~0.007 0.007~	構造上の損傷の始まり ドアの立て付け 構造上の変形 基礎の支持壁の損傷 土盛り10~15mのトンネル上の煉瓦製の支持壁の沈下損傷
Matsuura, Haga (1977)	傾斜角	0.0003~0.001 0.0007~0.0015 0.0008~0.0018	コンクリート・ブロック造 RC7-メ RC壁 粘土地盤上の構造物
Ohsaki (1957)	傾斜角	0.001~0.002	コンクリート・ブロック造、RC 粘土地盤上の構造物
Haga (1987)	傾斜角	$\beta = 3/1000$ 5/1000 10/1000 15/1000	基礎に亀裂が入る 窓・出入口にすきまが生じる 建具の開閉不良 床・柱の傾斜が大きく使用困難 木造構造物の沈下損傷
Burland, Wroth (1974) ³⁾	限界引張 ひずみ	$\epsilon = 0.075\%$	壁面仕上げされたコンクリートの建築材料の目に見えるひびの発生をひずみの大きさに関連づけた。地盤変形に依存しない。あらゆる変形モードに対応する。

する沈下量をもとに損傷の程度を評価できる。沈下量を用いると、結果を客観的な数値情報として把握できる。Table.3.1に代表的な基準を示す。これらは、一般の家屋に関して、基礎の構造的な安全を評価したものであり、基礎構造の剛性の違いや地盤の材料を考慮したものとなっている。

従来の沈下量による基準は一般に安全側の判断となっている。その主な理由は、基礎と地盤間で滑りを考慮していないことにある。沈下量は損傷を評価する上での目安とはなり得ても、そのみでは損傷を十分に評価できないといえる。

(B) 構造物の変形量による基準： 一般に構造物の変形は地盤移動とは異なる。したがって、損傷を評価するには、不等沈下の大きさばかりでなく、構造物の応答としての変形も考慮する必要がある。構造物の変形は不等沈下量と構造物の剛性や寸法に依存すると考えられるので、沈下量をそれを見込む角度に換算した傾斜角(β)、あるいは二地点間の距離で変形量を割った傾斜(Δ/L)に着目した基準が提案された。

Table.3.3 Standards of damage on ground strain, inclination and curvature.

提 案 者	損傷の外的基準	必要な評価項目	目的や対象構造物
英国国立 石炭委員会 (NCB, 1975)	目に見える損傷の発生 (煉瓦積とタイルのひびや変形)	地盤水平ひずみ 構造物の長さ	無基礎の煉瓦・石構造物で大きさが15m~140m程度のもの 損傷原因が主に水平方向のひずみによる 構造物長さ×水平ひずみの値と損傷程度の関係を経験的に明らかにしたもの。ただし、地盤と基礎の滑りは考慮していない。(連続基礎構造物は対象外)
Ryncarz (1963)	構造物物の傾き (損傷と異なる)	構造物の重量、 剛性、位置	砂上の構造物 砂上の構造物に関する実験 傾きは、構造物の重量、剛性、位置に依存する。
Grard (1969)	目に見える損傷の発生	水平ひずみ	パイプライン 引張ひずみによる損傷 0.5×10^{-3} 圧縮ひずみによる損傷 $1.0-2.0 \times 10^{-3}$
Zhuo Guoquan (1982)	構造物の挙動 (損傷と異なる)	地盤の曲率・傾き・変形の正負	石・コンクリート構造物 観察による経験的な関係を求めた。 構造物挙動が地盤の曲率傾き変形に依存する。
Pottgens (1979) オランダ	構造物の価値の 損失率	構造物の傾き (床の対角線上 の傾きを測定)	沈下損傷を通貨換算した。 基準値のみ(数値) 傾き 0.025 のとき 価値損失 10% 傾き 0.050 のとき 価値損失 30%
ド イ ツ	構造物の価値の 損失率	構造物の傾き (床の対角線上 の傾きを測定)	沈下損傷を通貨換算した。 基準値のみ(数値) 傾き 0.025 のとき 価値損失 20% 傾き 0.050 のとき 価値損失 70%
中 国	構造物の価値の 損失率	傾き・曲率・ひ ずみ	沈下損傷 家：1階(6×12m)木の骨組みで煉瓦壁を持つ。 石/モルタルの基礎で、地下無し。 大型構造物：2,3階建てで石/モルタルの基礎と RCの床板を持つ煉瓦壁の構造物 英国と同様の方法 家と大型構造物にわけて適用
Skinderowicz (1978) ポーランドの 中央鉱山協会	構造物の価値損失 の可能性	構造物の幾何学的 特性、構造的な 特性、想定される地盤 挙動など特徴づ ける7項目	北部ワルシャの鉱山に存在する構造物の 沈下損失の可能性を評価する分類システム 地面傾斜と水平ひずみと曲率半径の許容限界 構造物形状、建設の型、基礎、 土の性質、構造物状態 構造的な沈下損失の回避を組み合わせた説明。
ドネツ炭田	構造物の損傷	地表の傾き 水平ひずみ 曲率半径 構造物の重要性	構造物の破壊を防ぐことができる経験的許容値 安全係数は、地表に影響となる深度を表す。

Table.3.2は、過去の事例をもとにしたものであるが、いくつかの問題点がある。すなわち、(1)基準作成に使用したデータにより、損傷の程度や信頼性などが各々異なる。(2)一般的な材料と寸法の構造部材を用いた「標準」構造物にしか適用できない。(3)損傷の原因を考慮していない。(4)損傷を生じ易い変形モードが考慮されていない。したがって、規格化された構造物には、このような経験的な判断基準も有効であるが、実際の損傷原因については何も明らかにしていないといえる。

(C) 引張ひずみによる基準： 損傷の多くは、部材のひび割れに関連したものであり、ひび割れの発生には引張ひずみが主たる原因となる。Burlandらは「限界引張ひずみ」の概念を提案し、外見的損傷は引張ひずみが0.05~0.10%の範囲で生じるとした³⁾。さらに、部材が梁として挙動するという仮定のもとで、各種の変形モードでの引張ひずみと損傷の関係を調べた。解析結果は実際の挙動を反映しており、ひび割れが変形モードに依存することを明らかにした。

限界引張ひずみは、ひび割れの発生をひずみの大きさで求めるものであり、実際には地盤移動による構造物の変形を他の方法で求めねばならない。逆に考えると、この基準は、すべての地盤移動に関して、多様な構造物の任意の変形に適用できるという長所を有する。この方法を、多様な構造物に適用するには、さらに、ひずみの大きさと各種の損傷程度やその形態との関係を明らかにする必要がある。

(D) 地盤のひずみ、傾斜、曲率による基準： 構造物の挙動は地盤のひずみ、せん断ひずみ、傾斜、曲率

に関連するので、これらの地盤移動を表す因子をもとに、構造物の損傷程度を評価できる。地盤移動をもとにした損傷の評価法をTable.3.3に示す。しかし一般に地盤移動と構造物の変形は異なるので、損傷基準として機能するには、地盤移動のみでなく地盤と基礎間の状況を考慮する必要がある。これらのなかで、ポーランドの中央鉱山協会の方法は、地盤の種類、構造物の形状・状態を、構造的沈下による価値損失に組み合わせた点で注目できる。

3.3 地盤環境のための損傷の評価法

損傷基準は、構造物が地盤移動を受ける場合に、構造物が被る変形現象の評価尺度となるものである。上述のように、従来の基準には、地盤特性や構造物の多様性に応じてきめ細かく判断ができるものがなく、地下開発地域での設計基準にはなりにくいといえる。従来の評価法に共通する問題点として、1つには、損傷自体の定義が明確にされていないこと。2つには、損傷原因、設計内容、地盤条件などと構造物の損傷の関連性を明らかにしていないため、曖昧な判断基準となっていること。3つには、損傷や設計の情報には、定性的に得られるものが多く、評価に有効であるとはわかっていても、その利用法が確立されていないこと。4つめには、基準作成の基礎となるデータが現在の構造物に対応していないことが挙げられよう。

これらの問題点を踏まえ、損傷の評価法を地下開発地域に対応できるものとするためには、まず、基準作成の目的と対象構造物を明らかにする必要がある。次に、損傷の評価基準の判断根拠となる説明変数としては、損傷発生力のメカニズムが考慮され、しかも客観的判断が可能で、かつ時間依存性を加味したものである必要がある。またこれらと平行して、損傷の評価内容を社会・経済活動に共通な尺度に換算する方法の開発も必要である。

4. まとめ

本研究では、まず最初に、地下開発を進めるに当たって考慮しなければならない環境要素を、内部環境に属するものと外部環境に属するものに大別し、さらに外部環境を直接的なものと間接的なものに大別して、その両者の関係をみるため地盤移動と地表構造物の損傷に的を絞って検討を進めた。その結果、以下の2点についての困難性を確認できた。(1)損傷を定義することが困難なため、損傷の基準となるものを抽出する必要があるが、これらはあくまで損傷の一基準であり、損傷の全貌を表すものではない。(2)損傷の原因となる外的要因として複数のものが作用していることが多く、またそれらのうちどれがより大きな影響を持つのか判断することが困難なため、過去に発生した損傷事例と地盤移動とを、即一対一で対応させて評価することができない。

今日わが国で行われている環境評価のほとんどは、開発の直接的な影響を受ける地下水位変動、地盤沈下等の予測値を求めることで終わっている。また、地盤沈下等の上限値が定められている場合も、その根拠は曖昧であり、地上、地下を含めた多種多様な自然・社会的条件を加味したものとは言いがたい。対象とする地域に、あるインパクトが生じた場合、自然環境や社会環境にどのような影響が現れるのかを考慮した上で、インパクトの限界値が定められるべきであり、ひいてはこれらを総合的に判断し、地域に即した地下開発が計画されるべきである。

参考文献

- 1) 土木学会編：ニューフロンティア地下空間，13章，243-254(1990)
- 2) Burland, J.B., Broms, B.B. and deMello, V.F.B.: Behavior of Foundations and Structures, State-of-the-Art Review, Session II, Proc. 9th Internat. Conf. on Soil Mechanics and Foundation Eng., Tokyo, Vol.2, 495-546(1977),
- 3) Burland, J.B., Wroth, C.P.: Settlement of Buildings and Associated Damage, Session V, 611-654 (1974)