

大深度地下利用に係る技術指針(案)の検討状況について

The investigation situation about the technical guideline for the usage of deep underground

佐藤 寿延*・武長 顕吉**

Hisanobu SATO, Akiyoshi TAKENAGA

In order to investigate technical issues of deep underground the Deep Underground Technical Committee has functioned from 1998 to 1999 and drafted the Technical Guideline.

The Guideline has six chapters. The first chapter states the purpose and the application of the guideline. The chapter II states the definition of deep underground and a method to specify a bearing layer. The chapter III states necessary distance between deep underground facilities and architectures on the surface to avoid each other's interference. The chapter IV and V state a method to figure loading to deep underground facilities.

Outlines and reasons of guideline are as follows:

key words: deep underground, technical guideline

1. はじめに

臨時大深度地下利用調査会は平成10年5月27日に、①安全面、環境面ではできるだけ早い段階から十分に配慮すること、②国民の権利保護を図りつつ、権利調整を円滑にする制度を導入すること、③大深度地下は貴重な空間であり、施設の撤去が困難なので適正かつ計画的な利用を図るための措置を講ずること、を基本的な考え方とする最終答申(以下、答申という)を内閣総理大臣へ提出した。この答申を受け、大深度地下利用に関する法制度の構築を図るため、平成10年6月17日に内閣内政調査室長を議長、国土庁大都市圏整備局長を副議長とする「大深度地下利用関係省庁連絡会議」(13省庁がメンバー)が設置された。

現在法制度化への大詰めの段階にきているところである。

2. 技術指針の必要性と検討の経緯

大深度地下を利用する事業としては、電気、ガス、上下水道、道路、鉄道、河川等が挙げられるが、これらの事業については各事業の特性を踏まえた基準、指針等がそれぞれ制定されており、地下施設の深度に関わらずそれらにより計画・調査・設計・施工・管理が実施されている。

しかしながら大深度地下利用制度は、大深度地下を利用する各事業に横断して適用される制度であり、技術的事項についての判断が事業毎に異なれば、制度による円滑な事業の実施に混乱をきたすことになる。

また、個々の事業が大深度地下利用制度の適用を受けることができるのか否かの基準が明確でなければ制度の適用を前提とした事業計画の立案も不可能となる。

したがって、大深度地下利用制度を運用する際に各事業で統一して運用すべき技術的事項について定める技術指針が必要となる。この技術指針により、円滑な制度の施行に資するとともに大深度地下施設、地上建築物等に相互に影響する事項についても技術的に明確にして事業者、土地所有者等関係者の技術的解釈を統一することにより適正な制度の施行に資することとなる。

キーワード：大深度地下、技術指針

* 正会員 国土庁大都市圏整備局計画課大深度地下利用企画室

** 国土庁大都市圏整備局計画課大深度地下利用企画室

大深度地下利用制度は地下の施設と地上の建築物との間で相互に関連するものであり、このため主として土木関係の有識者からなり、総合的に技術指針の検討を行う「大深度地下利用技術検討委員会(委員長 今田 徹 東京都立大学教授)」と主として建築関係の有識者からなり、建築面から検討を行う「建築物の地下利用に関する実態調査委員会(委員長 榎並 昭 日本大学名誉教授)」を設置し、平成10年度から平成11年度にかけて検討を行っているところである。

以下に技術指針(案)の内容と全体構成について中間報告的に述べることにしたい。

なお、本技術指針(案)は、今回、とりあえず国土庁の委託調査結果としてとりまとめられるものであるが、今後法制度化を踏まえてどのような形でオーソライズされるべきかについては、さらに検討が行われる必要がある。

3. 技術指針(案)の内容と全体構成

技術指針(案)の全体構成について

技術指針(案)は全6章からなる。「第1章 総則」では、技術指針(案)の目的、適用範囲、用語の定義について定めている。技術指針(案)には大深度地下を利用する事業において統一して運用すべき事項を定めることとしており、これ以外の項目については、各事業毎に定められている基準、指針等により対応することとしている。また、シールド工法による15m程度までの径のトンネルの建設を前提としており、他の工法等(例えば NATM やこれより大規模な径)による場合は、技術指針(案)を参考に別途検討する必要があるとしている。

大深度地下の特定方法はどの事業でも統一して運用されるべきものであり、「第2章 大深度地下の特定方法」において定めている。また、大深度地下施設の規模等によっては、大深度地下施設、地上建築物の建設に相互に支障を来す可能性もあり、これについて適切に対処する必要があるため、「第3章 大深度地下施設の規模に応じた適切な離隔距離」において定めている。さらに、大深度地下は、通常の利用が見込まれない地下ではあるが、大深度地下施設の破壊・損傷防止などのためには、大深度地下利用制度で前提としている地上建築物等に対して十分な耐力を有する必要があるため、これについて、「第4章 大深度地下施設の設計荷重の考え方」と「第5章 地盤の変形に対する対処」において定めている。

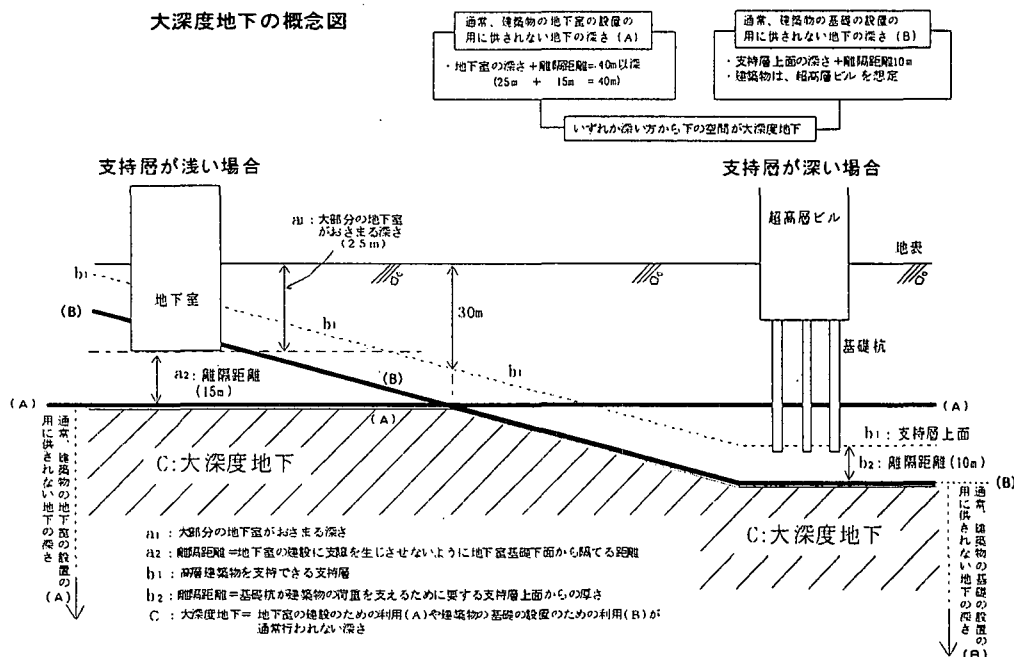


図-1 大深度地下の定義

「第2章 大深度地下の特定方法」について

(1) 大深度地下の定義と特定方法

大深度地下は、「土地所有者等による通常の利用が行われない地下」であり、通常の利用として建築物の地下室又は基礎の設置を考え、次に示すフロー図により以下の①又は②のいずれか深い方を求め、これより下の空間を大深度地下としている。

- ① 通常、建築物の地下室の設置の用に供されない地下の深さ (2)
- ② 地下の地盤の状況に応じて、通常、建築物の基礎の設置の用に供されない地下の深さ (3)

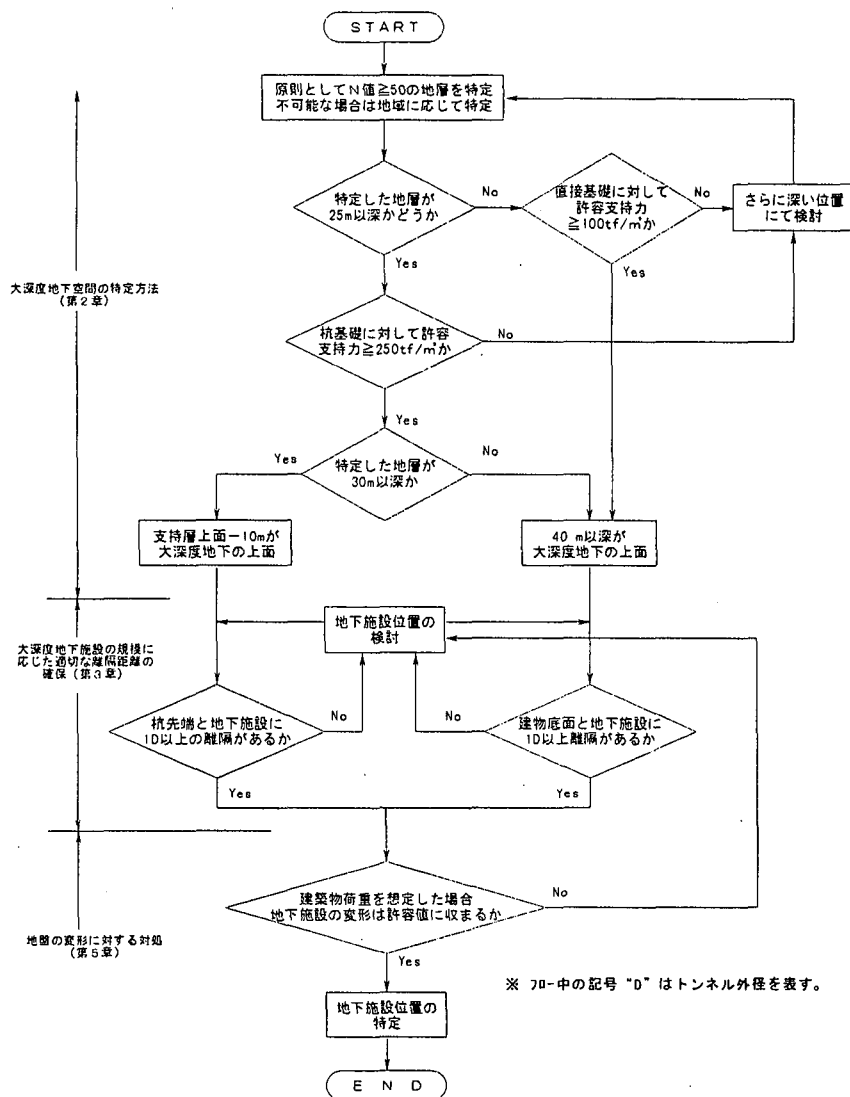


図-2 大深度地下の特定方法のフロー

(2) 通常、建築物の地下室の設置の用に供されない地下の深さ

通常、建築物の地下室の設置の用に供されない地下の深さについては、地下室の深さに地下室の基礎底面から土留め壁等の仮設構造物の設置に支障が生じないように隔てる必要のある鉛直方向の距離(離隔距離)を加えたものとしている。

大深度地下利用制度では最大規模の地下室として25m規模の地下室を想定し、この建設に対してボーリング、パイピング等の破壊現象を防止するために必要な土留め壁の根入れを15mとしている。この合計より、地表面より40m以深では建築物の地下室の設置のための利用が通常行われないとしている。

※地下室の深さ 25m は、土地利用が稠密な東京においても既存建築物の地下室の 99.9%以上が地下 4 階以内におさまっていることから余裕を見て想定したものであり、建築物基礎底面からの離隔距離 15m は 25m の地下室を設置するのに必要な根入れ長地盤改良深さを概算して求めたものである。

なお、実例においては掘削深度が 25m を超えるものであっても根入れは 5m 程度のものが多く、地表面から 40m の距離があれば事実上 30m 程度の大規模掘削も可能となっている場合が多い。

(3) 地下の地盤の状況に応じて、通常、建築物の基礎の設置の用に供されない地下の深さ

直接基礎の場合は、地下室の設置のための最大掘削深度について、地表面より 25m とし大深度地下の範囲を地表より 40m 以深としている。よって、直接基礎の場合は、25m以浅に直接基礎の場合の支持層となる地層が確認できれば、40m以深を大深度地下とする。

杭基礎の場合は、支持層を特定し、その支持層に対する杭の根入れと施工に伴う振動などの物理的な干渉を避けるために必要な距離(離隔距離)を隔てた深さが、地下の地盤の状況に応じて通常建築物の基礎の設置の用に供されない地下の深さとなる。この離隔距離は、根入れ等既存大深度地下施設と物理的な干渉を避けるため支持層の上面から10mが必要であるとしている。離隔距離は杭頭から定めるのが一般的であるともいえるが、杭の根入れはまちまちであるため客観的に定めることが可能である支持層の上面を基準としている。

よって支持層より10m下が大深度地下となる。杭基礎の場合の支持層位置が30m以浅の場合には、40m 以深を大深度地下とし、30m以深の場合は支持層位置に応じて大深度地下を特定する。

(4) 支持層の特定方法

支持層は、上部の建築物を支持することが必要であり、大深度地下を特定するためには、この支持層を特定する必要がある。各種基準、指針等においては、粘性土ではN値 ≥ 20 、砂質土ではN値 ≥ 30 以上の地層を目安としているものが多いが、具体的に支持層の要件を定めたものはほとんどないとしている。しかし、図-3、図-4に示すとおり、既存の超高層ビルを含め高層建築物のほとんどすべてが、直接基礎形式では許容支持力 100tf/m²以下、杭基礎形式では許容支持力 250tf/m²以下の支持力をもつ地層を支持層として選択しているとしている。また、東京、大阪などにおいては、行政指導により、場所打ち杭の支持力の上限として 250tf/m²としている例もある。

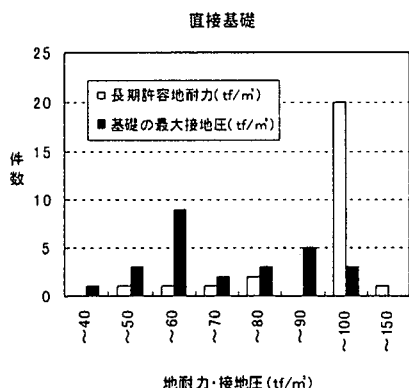


図-3 建築物の選択している地盤の許容支持力 (直接基礎)

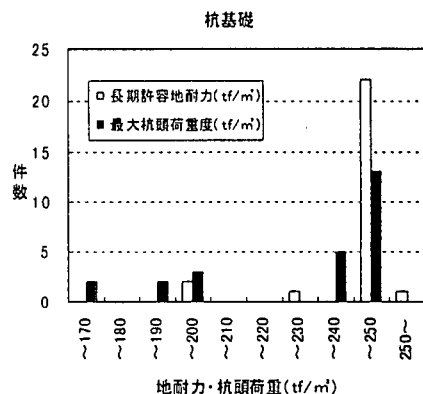


図-4 建築物の選択している地盤の許容支持力 (杭基礎)

(資料 (財)日本建築センター性能評定シート(ビルディンググレー)をもとに国土庁作成)

以上から、原則として直接基礎の場合は許容支持力 100tf/m²、杭基礎の場合は許容支持力 250tf/m²をもつ地層を支持層とする。

また、直接基礎の場合には設置している支持層、杭基礎の場合には杭の先端が貫入している支持層とも N値 50 以上を示す地層を選択しており、原則として、支持層は N値 50 以上の地層とする。

(5) 許容支持力の算定方法

支持力の算定方法は支持力公式(昭和46年建設省告示第111号)によることとし、なお、杭基礎の場合は、

原則として場所打ち杭の支持力公式により求めることとしている。

(6) 地盤調査の方法

大深度地下を特定するためには支持層を特定する必要がある、このために必要な地盤調査を実施し、この結果をもとに大深度地下を特定するとしている。

「第3章 大深度地下施設の規模に応じた適切な離隔距離」について

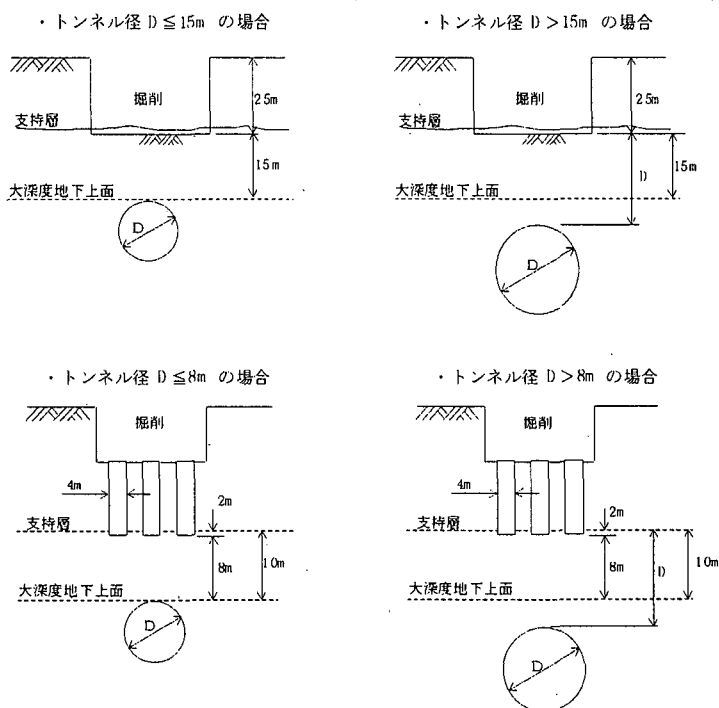
(1) 大深度地下施設の規模に応じた適切な離隔距離

第2章では大深度地下の定義は、通常の利用の行われない地下の上面の定め方を示しているが、通常施設間ではそれぞれ有意な影響を回避するため、必要な距離を隔てる(離隔距離)こととしており、大深度地下施設においても、施設の規模に応じて既存建築物や前提とする建築物との間に適正な離隔距離を得る必要があるとしている。

大深度地下は、堅くよく締まった地盤で構成されていることから、既存の示方書等における併設トンネルの場合の記述等を参考に、離隔距離については原則1D以上とすることとしている。

大深度地下は、支持層より下の地盤で、地表、浅深度地下の地盤条件とは異なり、堅くよく締まった地盤で構成されていることから、既存の示方書等における併設トンネルの場合の記述等を参考に、離隔距離については原則1D以上とすることとしている。

なお、離隔距離を算定する際の建築物基礎の位置は、直接基礎の条件により大深度地下の上面を定めた場合は地表面から25mの位置、杭基礎の条件により大深度地下の上面を定めた場合には、実績で最大規模の杭径4mを想定した必要な根入れ距離により支持層上面から2m(杭径4m×1/2)の位置としている。



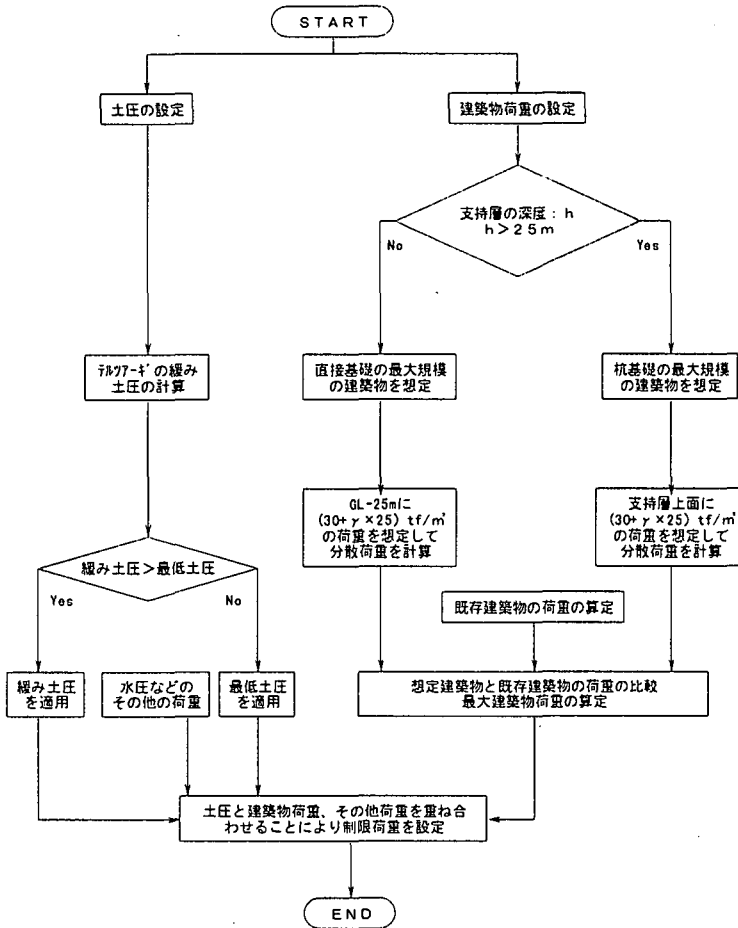
「第4章 大深度地下施設の設計荷重の考え方」について

(1) 設計荷重の統一の必要性

大深度地下施設は、土地の通常の利用に支障が生じない構造とする必要がある。大深度地下利用制度では、具体的には現行最大規模の建築物の将来の建設に支障が生じない必要があり、各事業に統一して適用する荷重を設定する必要があるとしている。

(2) 大深度地下施設の設計荷重の考え方

大深度地下施設の設計にあたって考慮する荷重は、①土圧及び水圧、②大深度地下利用制度において前提としている建築物荷重、③ 既存建築物がある場合はその荷重、であり、それぞれ重ね合わせることで求めことを原則としている。荷重の算定は、図－５に示すフローによりことを原則とするが、地盤条件、選択する工法などによっては、他の手法により算定できるとしている。



図－５ 荷重算定方法のフロー

(3) 土圧及び水圧

土圧については、原則としてテルツァーギの緩み土圧により算定することとしている。

また、最低土圧は各種基準などでは、比較的口径が小さくかつ浅い位置に設置される可能性のある下水道、電力及び通信等のトンネルでは 2D、比較的口径が大きく、深い位置に設置される場合の多い鉄道トンネル等では 1D 相当の土荷重を最低土圧として採用している。よって、最低土圧は原則として 1D 相当の土被り荷重を考慮することとしている。また、大深度地下では水圧は支配的な荷重となり、その設定は慎重に行う必要があるとしている。

(4) 大深度地下利用制度で前提としている建築物規模

答申では、「十分な大きさの高層建築物の代表的なものとして、東京都新宿の高層建築物群が挙げられる。このような高層建築物が一般には地下室を設置しており、建築物の建設により増加する荷重（以下「増加荷重」という。）は、建築物の荷重から地下室設置により排出される土砂荷重を差し引いて考えることとなる。新宿の高層建築物群においても、この増加荷重はすべて 30tf/m² 以内におさまっている。」としている。

地下室掘削規模については GL-25m としており、その排土荷重分を 30tf/m² に加えた数値の荷重の建築物が建つことを考えることにする。

【例】土の単位体積重量は、場所により異なるため、即地的に算定を行う必要があるが、例えば、 $\gamma = 1.6\text{tf/m}^3$

と仮定すれば、 $30\text{tf/m}^2 + 1.6(\text{tf/m}^3) \times 25(\text{m}) = 70\text{tf/m}^2$ の荷重を発生させる建築物となる。この場合、GL-25m に 70tf/m^2 の建築物が建つことになる。

・直接基礎の場合

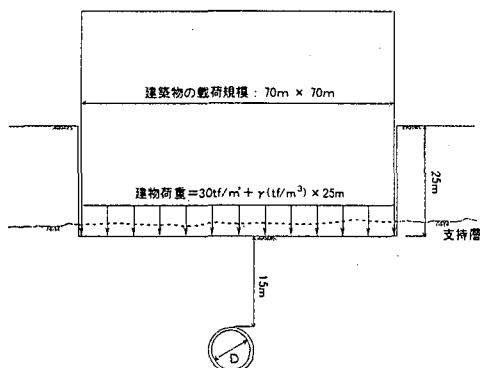
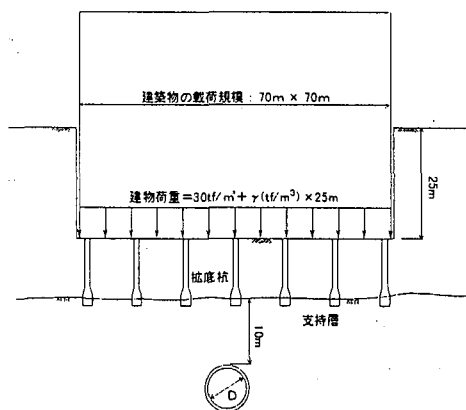


図-6 建物荷重の載荷状況

・杭基礎の場合



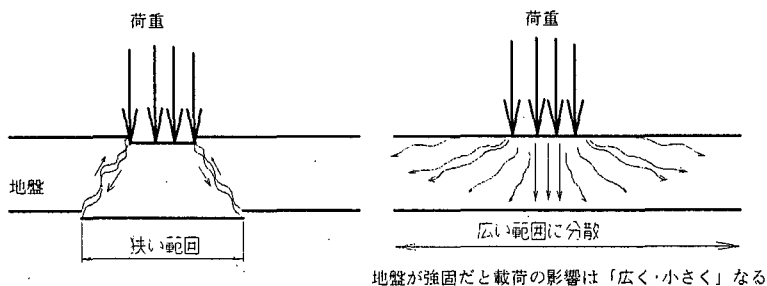
(4) 直接基礎形式の場合の荷重の算定方法

トンネルの設計において、上載荷重を評価する方法としては、①地盤を弾性体と仮定するブシネスクによる方法、②地盤を薄い水平の積層からなると仮定するウェスターガードによる方法、③ある角度で直線的に一樣に分散すると仮定する方法（ボストンコード法等）、④緩み土圧式の上載荷重の項(第3項)による方法、⑤FEMによってトンネルに作用する荷重を求める方法等がある。

大深度地下は良好な地盤で構成されており、荷重の相当部分を地盤が支えると考えられることから、地盤を弾性体と考え、①・②の方法を採用していない。④の方法は、荷重が作用している状態でトンネル掘削した場合の算定を行うもので、トンネル設置後の載荷を表す方法としては問題があるとしている。⑤の方法は地盤の不均一性やトンネル規模・形状等を表現できるが、数値解析手法であることから、地盤定数や解析モデルの設定の違いにより計算結果が変わってくるため、統一的な荷重の算定方法とはしがないとしている。

一方、③の方法は、直線的な分散角を仮定した簡便法であり、これまでに非常に多く使用されてきた実績のある方法であることから、③の方法により荷重を算定するものとしている。

荷重分散のイメージ



地盤が軟弱だと載荷の直近で地盤が壊れてしまう

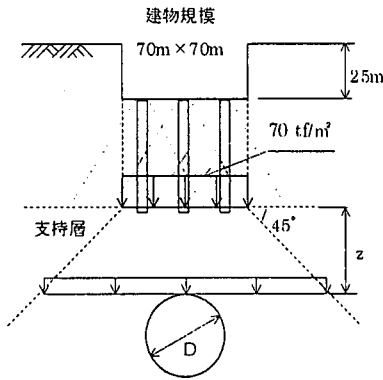
地盤が強固だと載荷の影響は「広く・小さく」なる

図-7 荷重分散のイメージ

一般には、③の方法の場合 30° の分散角を採用する事例が多いが、技術指針(案)では大深度地下の地盤特性などに鑑みて、分散角 45° を採用するとしている。

(5) 杭基礎形式の場合の荷重の算定方法

建築物に対して基礎が貫入する支持層上面から 45° の分散角で、建物荷重を平均した荷重が分散するものとして算定する。杭による施工を考えた場合、大深度地下では杭長は長くなり、周面摩擦力が十分期待できることから、仮想面を支持層の上面とする。また、地下水位が安定している場合には、建築物にかかる浮力を考慮できるものとする。



杭基礎の場合の荷重分散

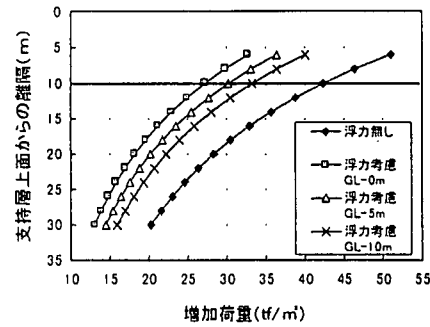


図-8 荷重分散の概念図と計算事例

「第5章 地盤の変形に対する対処」について

(1) 大深度地下の地盤の特性

大深度地下は、より堅く変形しにくい工学特性をもつ地盤で構成されていることから、大深度地下施設、地上建築物等相互に与える支障が生じるとは想定されにくいとしている。ただし、あらかじめ支障が想定される場合には、適切な対応をとることが必要であるとしている。

(2) 地盤状況などを踏まえた工法の選択と適切な施工管理の実施

大深度地下施設の建設により、既存建築物の変位、地表面沈下等により支障が生じないように、地盤状況などを鑑みて工法を選択するとともに、施工管理を十分に行う必要があるとしている。

(3) 建築物の载荷、大規模掘削による地盤の変形

建築物の载荷による沈下や建築物の建設の際の大規模掘削によるリバウンド等により、大深度地下施設への支障が生じると想定される場合には、適切な対応をとる必要があるとしている。

(4) 地震時の影響について

大深度地下施設は、地震により受ける影響は小さいと考えられるが、地上部との接続部分など、振動特性が異なる地層に設置される場合には、弾性ワッシャーや可撓性継ぎ手の採用等の必要な検討を行い対策をとるとしている。

4. 今後の展望

このたびの技術指針(案)のとりまとめにあたり、御尽力いただいた委員会の先生方の御学恩に深く感謝申し上げます。今後は技術指針(案)の事業者にも周知普及させていくという仕事が続いている。一日でも早く制度が実現できるよう今後も努力して参りたい。

5. 参考文献

- 1) 臨時大深度地下利用調査会答申, 1998.5
- 2) 大深度地下利用の課題と展望, ぎょうせい, 1998.10
- 3) 鉄道構造物等設計標準・同解説シールドトンネル, 監修: 運輸省鉄道局 編: 鉄道総合技術研究所 1997.8
- 4) 建築基礎構造設計指針, 日本建築学会, 1988.1
- 5) トンネル標準示方書 [シールド工法編]・同解説, 土木学会, 1996.7