

「人工改変地データベース整備と活用」 ～ 3次元地形地盤データベースの活用～

安田 岩夫*

1. はじめに～大規模地震発生時の地盤被害と人工地形

大規模地震発生時の地盤災害は、図.1に示すように地形形態によって様々な現象をもたらすが、その災害発生地盤は何らかの人間の手が介在した、いわゆる人工地形が多くを占める。人工地形である地盤は、長い地球の営みにより形成された自然地盤に対して、一般に緩く低密度であり、そうした相対的なギャップが地盤災害をもたらしている。

最近の地震災害では、阪神大震災の神戸市の事例に見るように、埋立地域の液状化による被害とともに、丘陵部の宅地造成地などの盛土部の地盤災害が発生している。道路や鉄道、宅地の造成地域では、旧地形に対して

盛土造成した区域や自然・人工地形条件の境界付近などで、地盤そのものの被害とともに建物や地下埋設物の被害が数多く確認されている。

国土交通省では、大規模盛土造成地の地震災害リスクを軽減化するために、造成地盤の耐震基準を導入する計画が進められている。そのためには元の自然地形に対し、人工改変して造成された盛土領域の分布状況（拡がり、深さ、傾斜等）を地形的な位置と量について正確に把握することが必要である。われわれはこれまでに、宅地造成地等での地形改変の三次元データを「人工改変地データベース作成」と位置づけ幾つかの整備事例を経験してきたので、その手法と活用について紹介する。

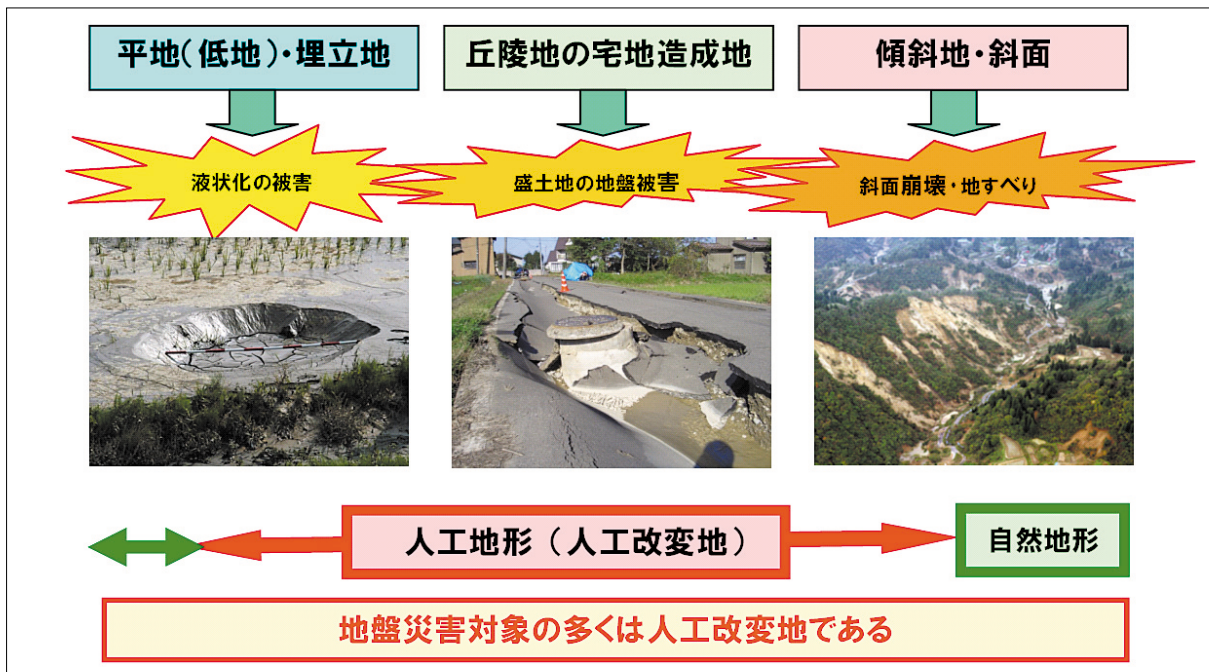


図.1 地震による地盤災害

* 株式会社八州

2. 人工改変地における被害の軽減化

大規模地震による地盤災害の対象となる、盛土をはじめとする人工改変地は、元の自然地形に対し三次元的な改変を伴う条件によるもので、二次元的な土地利用の変化だけでは対象とならない。古くは湖沼や海岸部の新田開墾、道路造成、河川築堤、埋立てから、最近の鉄道、高速道路建設や、ニュータウン建設などの大規模宅地開発等が対象となる。

人工造成のとりわけ盛土地盤については、自然地盤に対して緩く低密度であるため、地盤条件のギャップで、地盤沈下や地盤崩壊、地盤流動などの地盤被害がもたらされる。人工造成地盤の防災課題は「地盤被害の軽減化」にあることは言うまでもない。そのためには宅地造成地での耐震基準の整備・導入が必須で、併せて地域的な盛土造成地の情報（防災対策の対象）を正確に把握することが必要となる（図. 2）。

3. 人工改変地データベースの取得

国土交通省で平成18年度から創設される「宅地耐震化推進事業」の対象は、大規模宅地造成の盛土地であるが、一般に大規模造成地では、土工設計で運土の収支をはかるため、盛土・切土が混在するが、施工後の現況から盛・切区域の判別を行うことはかなり難しい。

従って、盛土の範囲を直接特定して数量データを得ることは困難な場合が多いので、まずは現在の地形図と古い地形図を対照し人工的な改変があった区域を抽出し、次いで抽出区域について現在地形のDEMと古い改変前の自然地形のDEMとを取得し、この三次元差分を「人工改変地データベース」とする（図. 3）。

この人工改変データベースの中で盛土エリアと特定した区域が耐震対象エリアである。

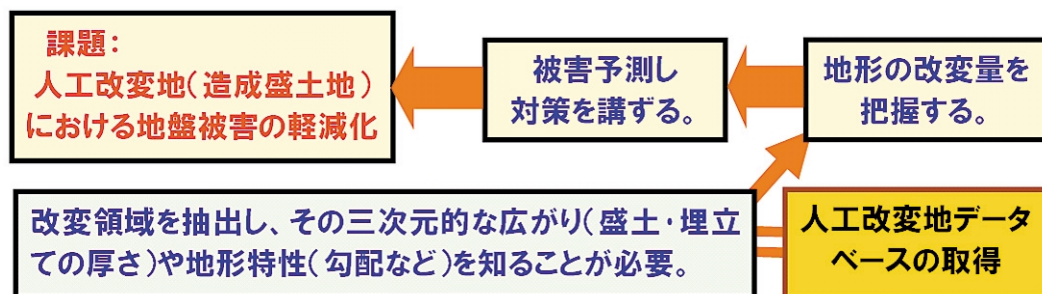


図. 2 地盤被害の軽減化と人工改変地データベース

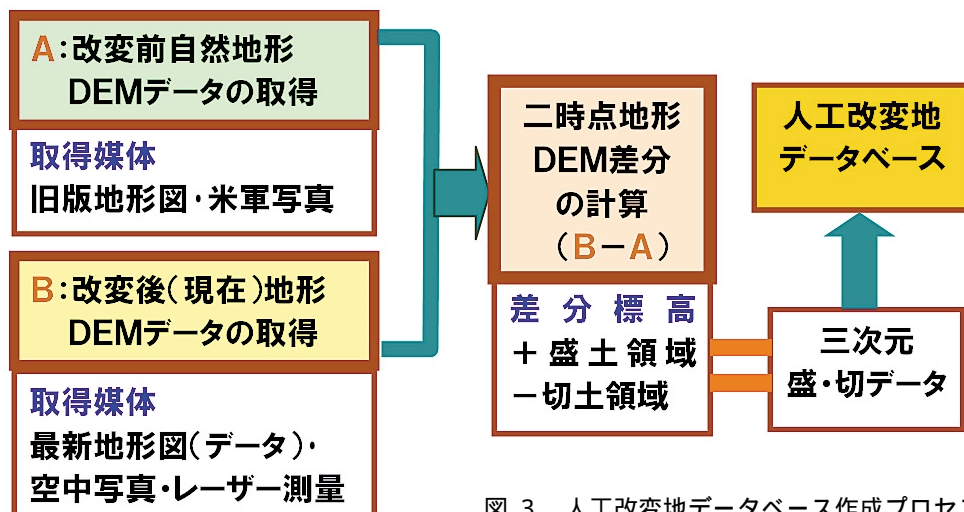


図. 3 人工改変地データベース作成プロセス

4. 旧地形DEMデータの取得方法

4.1 人工改変データベース取得のポイント

人工改変データベース取得の最大ポイントは、旧地形DEMをいかに精度良く取得できるかということにある。関連の幾つかの取得要件とともに挙げる。

既往の地形図資料・空中写真資料の確認と有効な資料の収集

既存の旧版地形図等の資料は、当然のこと現存する限られたものでしかなく、また地域差もあるので、有効な資料を選定し作業手法及び取得精度を見込んでおく必要がある。

予察

人工改変地エリアを最新地形図において予察し、あらかじめ測定範囲を決定しておく作業で、自然地形の樹林等で不安定な標高差分を無意味に取得しないで済む。また、旧地形取得の有効な資料が部分的なもので

ある場合は、資料別の取得区分エリアを設定することで、後の利用のために精度区分を示すことができる。

資料精度によるデータ取得の優先順決定元資料別に標高データを取得したのち、標高データを精度順に統合する。(旧地形DEMデータ)

取得データの有効精度の検証

実際測定したDEMの精度を検証し、元資料別(取得エリア別)データの精度情報を記録する。

4.2 旧地形データ取得の元資料

精度の良いより最新の地形図で、なおかつ人工改変前の資料を優先して利用することが基本である。精度的には、1/2,500都市計画図の前身である1/3,000図が極めて有効ある。

元資料例を図.4に示す。これは地歴資料でもある。



旧版1/20,000迅速図(部分)



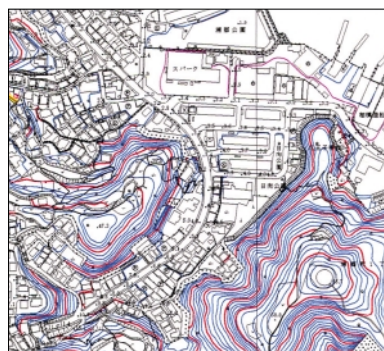
旧版1/20,000正式図(部分)



米軍写真1/48,000(部分)



旧版1/3,000地形図(部分)



最新地形図データ(部分)

図.4 地形図資料例(旧版地形元資料・最新地形図)

4.3 旧地形データ取得・データの統合

旧地形DEMデータ取得については、基本的に精度の良い条件の資料を優先して選定し、必要に応じて複数資料を用い統合して作成するケースが多いと思われる。図.5はある自治体の最新地形DEMと、改変前の自然地形DEMの取得例で、最新地形データを除いて5種の旧版地形図を利用し統合調整した例である。

4.4 「予察」の効果

予察は、最新地形図データにおける自然地形の区分けと、旧版地図それぞれのDEM取得範囲をあらかじめ判別する作業である。この作業は、樹林等で覆われている改変のない自

然地形DEMの二時点での重複取得を避けるという合理的な意味もあるが、特に最新地形図との差分を採る場合に、樹林被覆地の不安定な精度のDEMで自然地形の差分を改変としてカウントするリスクを避ける意図もある。図.6は予察の一例で、エリアを数値化することで、重複資料による編集の際の手がかりにもなる。

4.5 米軍写真による測定

旧地形DEMを、米軍写真を用い写真測量手法で取得するケースも十分にあり得る。それは当該地域に1/10,000以上の精度の旧版地形図元資料がない場合に、経済的ではないが、目的の精度データを確保するために三次元測

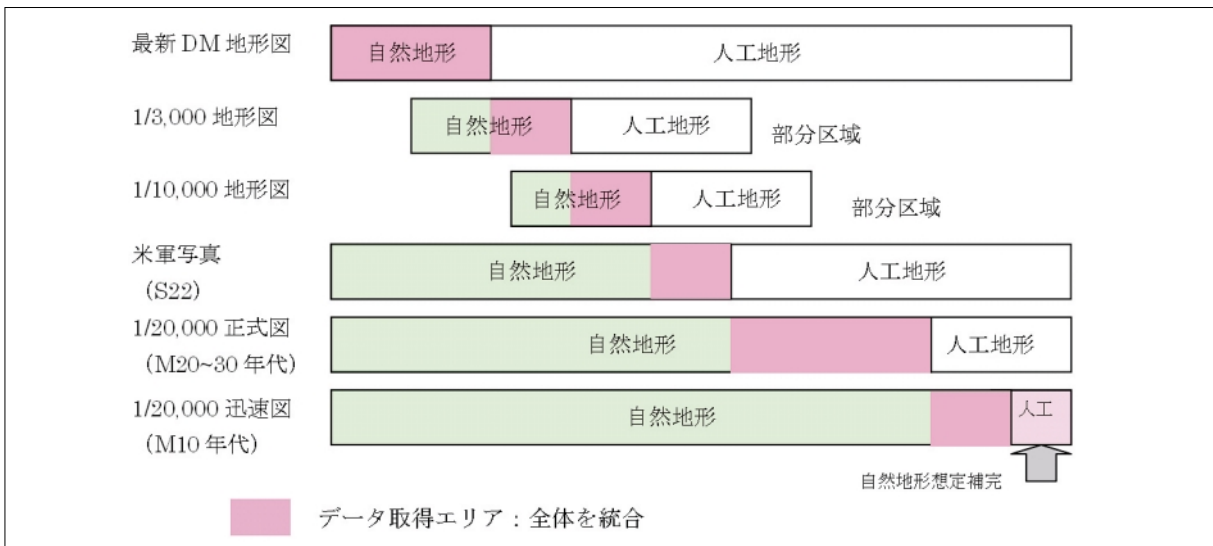


図.5 旧地形データの資料別取得区分例

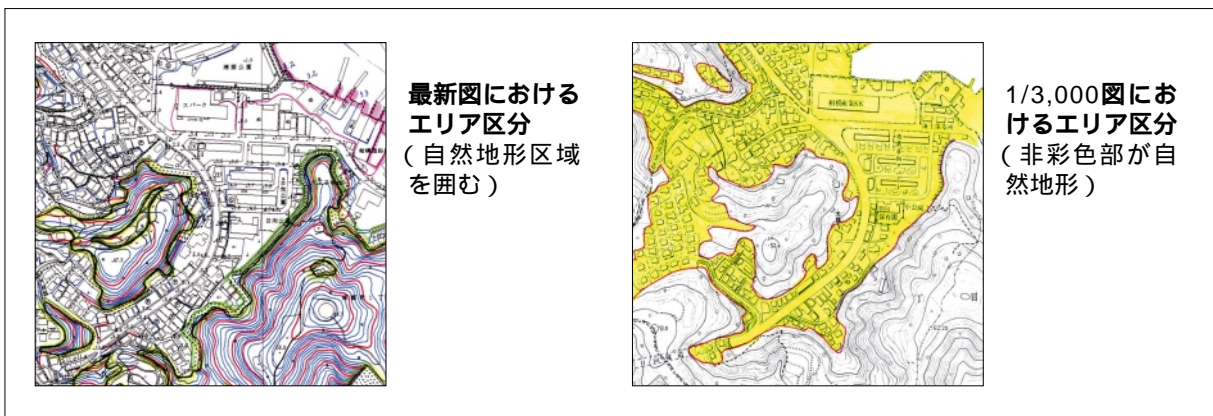


図.6 予察によるエリア設定例

定を実施するケースである。

米軍写真を用いる際に注意を要することは、写真測量レベルでの精度リスクである。一般に米軍写真は、内部要素で大きなディストーション（数10 μ m～100 μ m）が内在するとともに、指標等の測定の基準も存在しない。少数モデルの写真測量であれば、基準点条件（基準点数や標高基準点の補完）により目的の精度が確保され得るが、10モデル以上、さらには複数コースのブロック調整に至っては、精度確保のために相当の調整トライを強いられる。また、米軍写真は写真個別に解像度の良いものと良くないものとの差がかなりあるので、閲覧、ないしは取得してみないと、資料有効性の可否の判断をつけにくい。そうはいっても、昭和20年代当時の状況をリアルに再現できる貴重な資料であることに疑いはない。

米軍写真によるDEMデータ取得は、最近の写真測量と同様に、取得方法は3タイプある。自動取得も可能なメッシュ測定その他、オペレータによる等高線データ取得やブレイクライン取得の方法もある（図.7）。特に複雑な人工地形の斜面で構成される最新地形データを得る場合には、このブレイクライン取得が最も合理的な方法と考える。

余談になるが、地形DEMデータを得るに航空レーザーがもてはやされているが、写真測量による標高データは、3タイプの方法で取得できる。このことをもっとアピールすべき

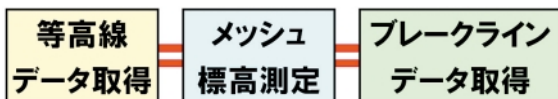


図.7 写真測量の標高データ取得パターン

表.1 米軍写真の標準的な精度（絶対精度）

米軍写真縮尺タイプ	水平	垂直
1/48,000級(全国カバー)	約±3.0m	約±2.5m
1/12,000級(主要部カバー)	約±1.0m	約±1.5m

と考える。レーザー測量では、後処理でフィルタリングなどの非自動・非客観の処理を施すことになり、そのために航空写真撮影でデジタルオルソを補助的に取得したりもする。航空写真は、DEM取得の究極であるブレイクラインデータ取得が直接できることと、当然のこと同じ媒体で同時に地形図データ取得もでき、DEMデータのエラーチェックもリアルタイムで対応できる。この様に多目的活用ができて、便利で合理的な媒体は他にない。将来はレーザーでなくデジタルカメラが、自動化課題に挑戦しながら、おそらくこの地形モデル取得の分野を再び担うことになるかと予測する次第である。

米軍写真による測定精度目安は、個別に大きなばらつきがあり測定者によっても差異が出てしまうことで一概に言うことができないが、筆者の経験値を示すと（表.1）のようである。個別作業毎の精度結果の報告はその都度必要であるが、標準的な精度目安も計画段階で必要であるので提示する。

5. 最新地形DEMデータの検証

最新地形DEMデータの取得は既存地形図からの数値読み取りから、航空レーザーや航空

表.2 媒体別の取得ポイント

取得媒体・取得方法	取得ポイント・要領
航空レーザーで取得	人工地形面の変換線について検証し、必要な補完を加える（ブレイクラインデータを直接取得できない）
空中写真で新たに取得	直接ブレイクラインデータを取得する
既存地形図の数値化	等高線及び標高点を数値化する（人工地形では等高線が読みにくく、ブレイクライン補完を、他の資料・データで補う必要あり）
最新地形DMデータ利用	人工地形面の変換線についてブレイクライン補完する必要あり（他の資料・データで補う）

写真から新たに取得する方法、あるいはそれらいずれかの手法によって既に整備されたデータを利用する方法など様々である。データ運用に当たって最も重要な検証ポイントは、複雑な人工地形面を如何に合理的に取得できるかということである。そのためにはブレイクラインデータによるデータ構成仕様が最も効率的であると考え、一般地形図からのデータでは、盛土の法面等の傾斜変換線がほとんど表されていないので、これを補完する必要がある。最新地形DEMで人工地形を取得する際の利用媒体別の取得ポイントを(表.2)に示す。

6. 人工改変量データ算出

6.1 人工改変(差分)データ算出

人工改変地データは、予察により改変区域を絞り込んだ上で、[最新(改変)地形DEM] - [旧自然地形DEM]の標高差分データにより求める。

人工改変差分データ取得の精度目安値は、 $\frac{1}{(\text{改変前取得精度})^2 + (\text{改変後取得精度})^2}$ により求まる。この際、水平精度要素も考慮する必要がある。

6.2 人工改変地データの表示

差分計算により求められた人工改変地データは、表.3の要領で領域分けを行う。この区分は、標準的な人工改変地データ取得精度値に相応して設定したものである。

6.3 人工改変地データアウトプット例

人工改変地データのアウトプット例を図.8に示す。表.3の設定基準により表示したもので、丘陵地の大規模改変地については、その造成土工により、山を切り、谷を埋めたことから、盛・切が複雑に分布する。図.8は差分データをそのまま表示した、いわばオリジナ

表.3 人工改変領域とデータ表示

差分データ	決定領域	表示
+ 3 m以上	盛土領域	(薄黄色)等盛土量コンター表示(赤)
+ 3 m ~ - 3 m	改変量の少ない区域	(白)
- 3 m以下	切土領域	(薄水色)

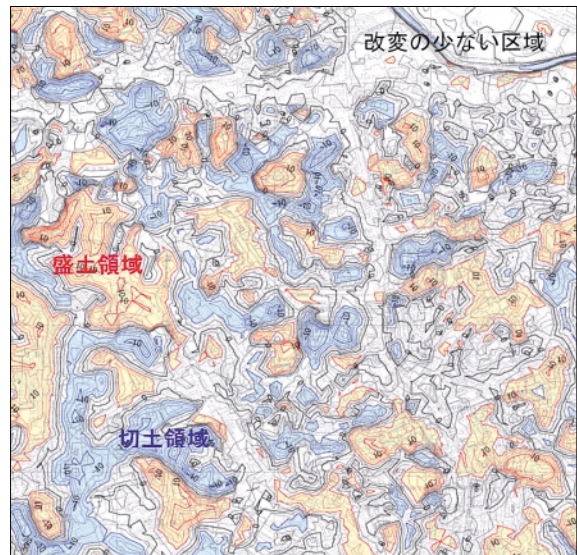


図.8 人工改変表示図オリジナル版

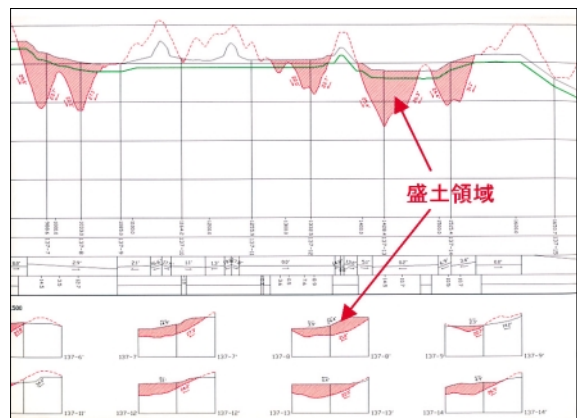


図.9 ルート断面表示人工改変図例

ル人工改変図版である。この中から盛土区域のみ抜き出して表示すれば、いわゆる「宅地造成地ハザードマップ」になり、変動予測調査報告資料となる。

また、オリジナルデータが三次元のDEMデータであることから、CAD的な処理で地形要素の抽出ができる。二時期の任意の位置の断面の切り出しや傾斜分布を二次的に加工し

て取り出すこともできる。図.9は、ある造成道路のルートに沿った断面を切り出し表示した例で、ルート方向と直行方向の断面から盛土の分布を表示した図例である。

7. 人工改変地データベースの活用例

これ以降は、人工改変地データ及びその取得方法を他方面の課題に対応する、三次元地形地盤データの活用事例を紹介する。

7.1 土地条件図データ三次元化の提案

国土地理院発行の「1/25,000土地条件図」及び各機関で整備されている「地形分類図」については、二次元的な土地利用図とは違って、その地形区分はほとんどが三次元要素を含んだものである。また、自然地形と人工地形とを明確に区分できる情報でもある。

地形区分は、自然地形区分と人工地形区分から構成されているが、人工地形はあくまでもかつての自然地形に対し、人工的な行為（埋立・干拓・道路鉄道の盛切・宅地造成・河川改修・斜面保護・築堤等）により、人工改変された地形という成り立ちが必ずある。そして人工改変は時間的経過とともに現在も継続している。人工地形区分は、三次元的な人工改変により新たに発生する区分である。

まず改変前の自然地形のDEMデータをもとに、傾斜分布などの地形計測処理により自然地形の地形区分ができる。次いで差分による人工改変データの量的要素と、かつての地形区分との対照により、盛土（低い盛土・高い盛土）の区分も自動処理が可能で、人工斜面、平坦化地等の判別も合理的かつ客観的にできることとなる。

その処理フローを図.10に示す。

7.2 土地条件図三次元運用例：地歴表示

土地条件図データについて、地形区分を

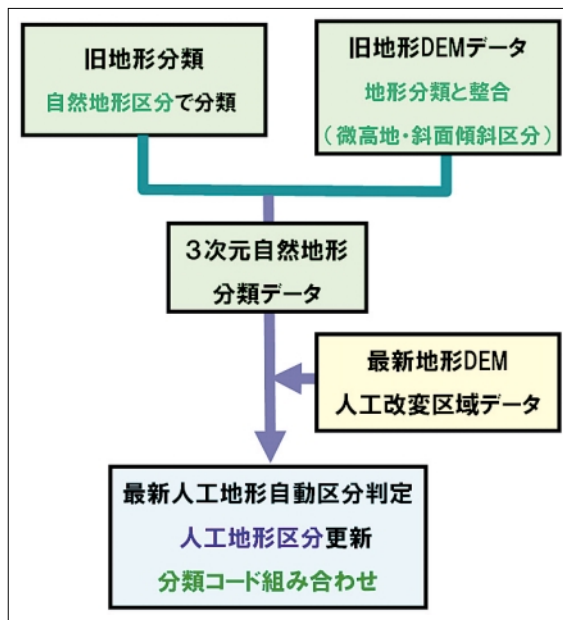


図.10 土地条件図の三次元化対応の流れ

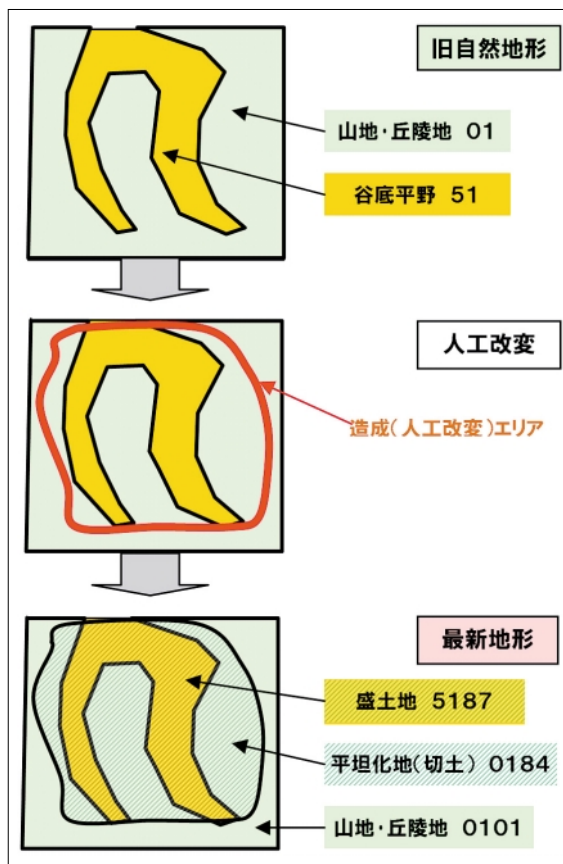


図.11 地形区分のコード化と地歴表示例

コード化し、改変前地形と改変後人工地形とを対照することで、地歴情報を付加でき地形の変遷がわかる。整備モデルを図.11に示す。例えば地形区分を2桁コードで表し、改変前

と改変後の2時期の変遷であれば、(2桁+2桁)4桁の組合せで地形の変化履歴を表せる。現在の地形区分が人工改変前何であったかも判る。現在もなお自然地形である場合は、図に例示のように同一コードが並び4桁表示となる。さらに図例にはないが、改変年次あるいは調査時点の年次を組み込むことで、3時期以上の変化を絶対年次で把握することも可能である。

土地条件図データの三次元化運用の利点を整理すると以下ようになる。

個人差によるあいまい判読区分要素が軽減化される。

三次元データによる地形区分の客観性の向上。

デジタルデータによる合理的なエリア設定(ポリゴンの重ね合わせ)ができる。合理的な地形履歴の管理(コード化)とデータ更新が任意にできる。

9. 三次元地盤データその他の活用面

9.1 共用地盤データベースの位置づけ

三次元地盤データは、多目的利活用に供す共用データベースとして位置づけられる。GIS等における運用では、付加情報の整合が図られる。他の災害課題(洪水浸水・土石流被害等)に関するデータとの整合をはかる上でも、「総合災害ハザードマップのデータベース」と位置づけることもできる。

9.2 地歴データ活用の応用展開

土壌汚染調査における地歴調査の客観データとしても、この手法によるデータが活用されるものと思われる。現行の一般的な調査基準ではもっと簡易な手法で対応されているようである。

10. まとめ

10.1 人工改変地データベース整備手法

人工改変地データベースは、地震による地盤災害リスクの軽減化のため、国土交通省の盛土造成地盤の耐震基準導入とも併せ、その被害予測のための基礎的な三次元地形データと位置づけられ、そのデータ整備手法の概要を紹介した。旧地形DEMデータ取得条件が、人工改変データベースの精度を左右する。取得データの精度の検証とその精度記録が大切であることが、整備事例の中で確認されている。

10.2 三次元土地条件図データの整備

土地条件図の三次元データ化は、人工改変地データベース取得手法に倣って整備することができ、この結果、客観的で地歴情報を備えた効果的なデータが得られる。

10.3 総合防災地形地盤データベースとして位置づけ(ハザードマップ)

人工改変地データを、整備と運用の面から拡張展開すれば、共用三次元地盤データベースと位置づけることができる。また総合防災地形地盤データベースとして他の災害分野での活用や、土壌汚染課題における地歴調査にも応用できる。

(発表日：2006年1月26日)

謝辞

本文作成に当たって、独立行政法人防災科学技術研究所川崎ラボラトリー(末富岩雄様、若松加寿江様)のご協力をいただきました。謹んで御礼申し上げます。

発表者紹介

安田 岩夫(やすだ いわお)

所属：株式会社八州

「人工改変地データベース」は、本年度より事業予算化される造成盛土地の耐震基準整備のための「宅地ハザードマップ」に、まさに活用されます。ただ当該課題のため

のデータに終わらせず、関連多目的で活用できる共用データベースとして位置づけられればと考えます。

E-mail : i-yasuda@hasshu.co.jp