

関西国際空港第Ⅱ期埋立工事岬町土取場における 和泉層群の長大のり面崩壊形態の考え方

丸木 義文¹・中井 卓巳²・龍 明治³・畠山 克美⁴・境田 浩一⁴・大西 有三⁵

¹(株)アーステック東洋 地質部防災地質課 (〒601-1374 京都市伏見区醍醐西大路町44-32)

E-mail:maruki@earthtech-toyo.com

^{2,3}(株)アーステック東洋 地質部 (²正会員)

⁴岬町工事事務所

⁵京都大学大学院工学研究科 都市環境工学 (正会員)

和泉層群のような砂岩・泥岩の互層からなる弱線の発達した岩盤掘削では、脆弱化しやすい泥岩層の層すべりや切土施工後の応力解放や応力の再配分によるゆるみゾーンの形成によって発生する岩盤すべりがのり面安定上の問題となることが多い。本報告は、掘削後2年以上を経過した切土のり面において発生した岩盤すべりに対して、DDA解析を通して弱線の強度を求め崩壊状況をシミュレーションして、和泉層群における長大のり面の崩壊形態の考え方をまとめた。また、この手法に基づき、実際に生じた変状に対して実施した対策工についても述べる。

Key Words : large slope excavations, discontinuous deformation analysis, slope failure, slope stability

1. 概 要

関西国際空港のⅡ期工事における土砂採取・供給工事が大阪府南部の岬町で施工された。(図-1)当該地では、空港埋立てに使用する総量約25,000万Lm³(ほぐした土量)の埋立て土のうち、約7,000万Lm³の土砂を周囲約5.0kmにおよぶ山体を最大比高約150mにわたり掘削して採取する計画で、2001年4月から本格的な掘削が開始され、2004年6月に土砂供給を完了している。

当報告は、掘削後2年以上を経過したこれらの切土のり面において発生した岩盤すべりに対して、DDA解析を通して弱線の強度を求め崩壊状況をシミュレーションして、和泉層群における長大のり面の崩壊形態の考え方をまとめたものである。また、この手法に基づき、実際に生じた変状に対して実施した対策工についても述べる。

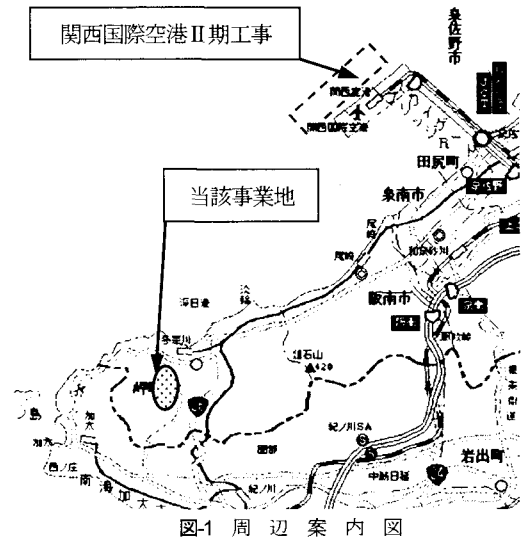


図-1 周辺案内図

2. 地形・地質概要

当該地は、東西に延びる和泉山脈の西端部にあたる。標高150~200m程度の山頂が連なり、南北方向の谷地形が卓越した地形が形成されている。

周辺の基盤岩は、中央構造線の北側に分布する中生代白亜紀に堆積した砂岩と泥岩の互層で形成される和泉層群で構成されており、図-2に示すように小さな褶曲構造を繰り返すものの、大局的には、NE-SWからNW-SEで東落ちの走向・傾斜が見られる。当該地周辺は、概ね

硬質な砂岩が優勢な弱線の発達する砂岩・泥岩の互層で構成されている。

3. 施工状況

当該事業の準備工事では、投入口西側斜面の仮設のり面掘削時に岩盤すべりによる変状が発生しており、種々のモニタリングを通して崩壊形態や層間強度¹⁾が求められた。これらの結果を考慮して、本工事の長大のり面掘削の標準安定勾配が提案され、のり面観察と孔内傾

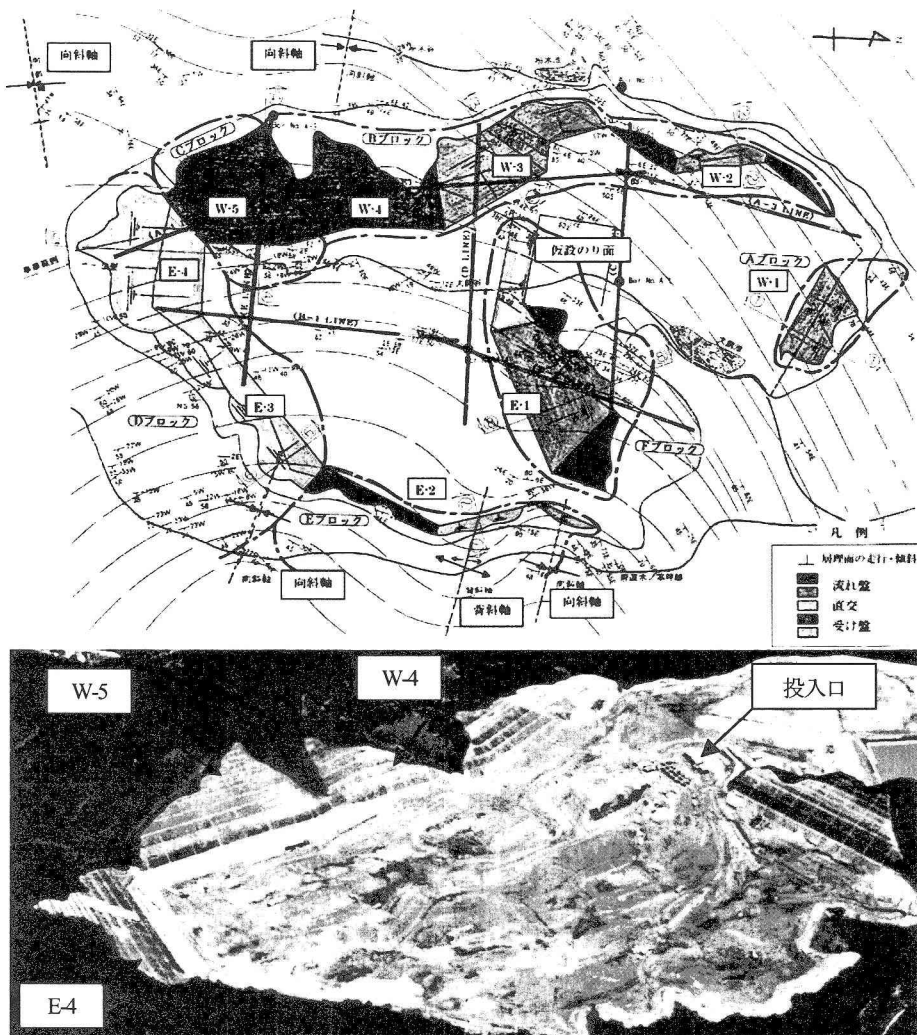


図-2 周辺の地質構造図と施工状況写真

斜計等による観測施工が実施された。

図-2に示す施工状況写真は、約6,000万 Lm^3 の土砂採取完了時点の状況写真である。

W-1～5およびE-1のり面の層理面は、図-2に示すように比較的低角度の流れ盤であるが、観測施工によるロックボルト・枠工等の対策工の早期施工によって、大規模な崩壊を発生することなく掘削されている。

E4のり面の層理面は、のり面に概ね直交しており、部分的に岩塊状の破碎部が見られた。施工時におけるロックボルト等の施工によって、崩壊を発生することなく掘削されたが、施工後2年程度経過後に降雨を誘因として変状が発生した。これらの対策工として2003年8月に既に2箇所において、枠工等の施工が完了している。

4. 崩壊形態の想定

前述の仮設のり面掘削時に発生した岩盤すべりの動態観測結果から、図-3に示すような崩壊模式図¹⁾が想定されている。

掘削による地層内応力の解放によって、斜面下方にゆるみが発生し、応力が再配分されることによって、ゆるみ域が斜面上方・下方に波及するものと考えられる。

切土面に出現する層理面の走向・傾斜によっては、本工事の長大のり面掘削時に表層部において、小崩壊発生の可能性が想定された。

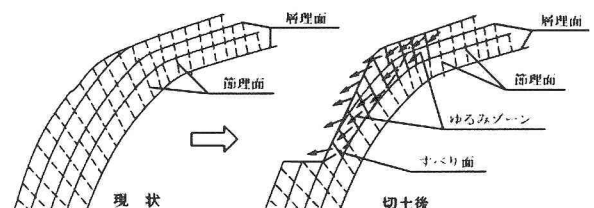


図-3 当地の和泉層群の崩壊模式図¹⁾

5. 変状の発生

2004年10月の台風23号やその後の豪雨は、近畿各地に甚大な災害をもたらした。当該地では大きな被害はなかったが、E4のり面において図-4に示すような亀裂および変状が発生した。また、これらの対策工施工直前の12月4日深夜から5日未明の豪雨(総雨量126mm)によって、亀裂や変状が拡大した。

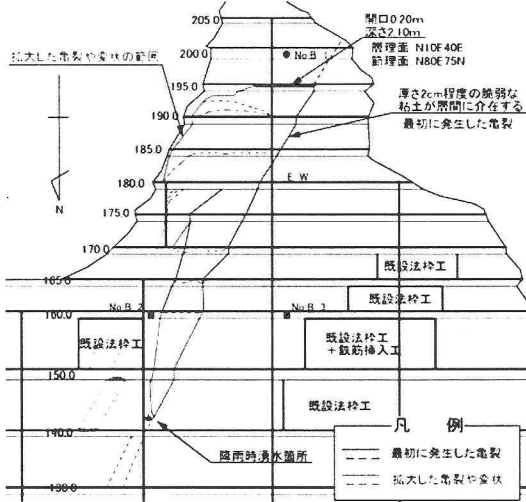


図4 E4のり面の変状状況図

亀裂面には、図-5に示すような脆弱化した厚さ2cm程度の粘土が連続的に観察された。なお、その後降雨を経験しているが、動態観測結果では累積的な変位や変状は、全く観測されていない。

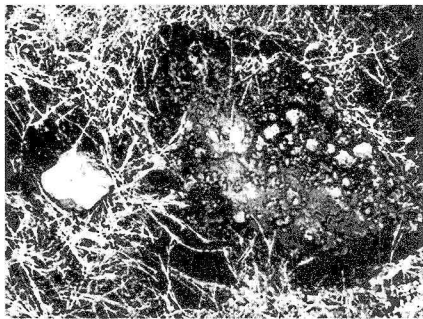


図5 亀裂面に見られる連続性の良好な脆弱化した粘土

6. 崩壊形態の考え方

(1) 弱線の分布状況

発生した亀裂の深さや層間に介在する粘土の連続性を把握するため、EL195m小段において高さ2m程度の試験掘削を行った。(図-6)岩質は非常に硬質であるが、発達した弱線(層理・節理面)や幅3m程度の破碎ゾーンが確認された。破碎ゾーンとの層間には、脆弱化した粘土

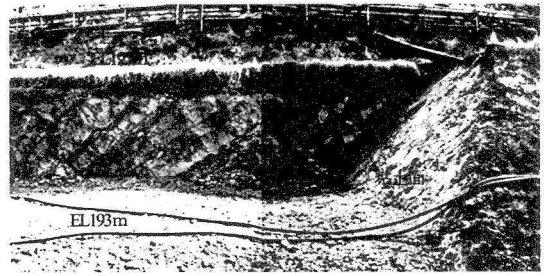


図6 試験掘削状況(EL193m)

が切土面奥にも連続することが確認された。

(2) 崩壊形態の考え方

試験結果から、これまでは各切土のり面に部分的に確認される程度であった脆弱化した粘土は、当該のり面においては、破碎ゾーンを伴って非常に連続性が良好であることがわかった。このような弱線の分布状況から、図-7に示すような崩壊状況を想定した。最初に脆弱化した粘土部分に亀裂が発生し、周辺の弱線に変位が拡大し、亀裂や変状に至ったものと考えられる。

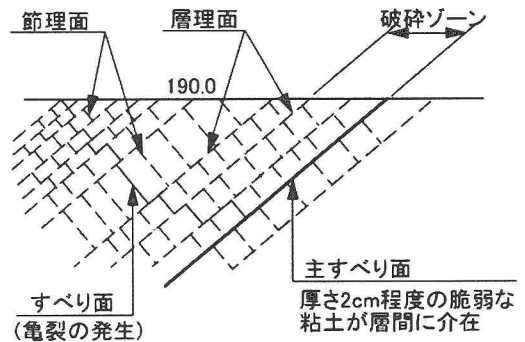


図7 崩壊状況の考え方

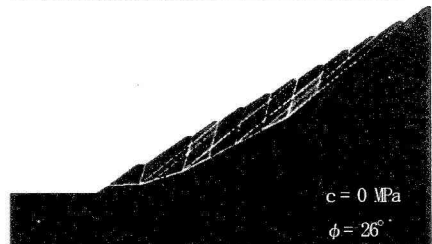
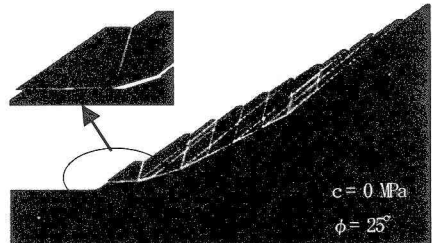


図8 DDA 解析結果

(3) 崩壊状況のシミュレーション

上記(2)で想定した弱線による崩壊状況をDDA解析²⁾によってシミュレーションし、弱線の強度を求めてみた。解析結果は、弱線による崩壊状況を考慮して $c=0\text{MPa}$ とした場合に $\phi=25^\circ$ では変位が発生し崩壊にまで至るが、図-8に示すように $\phi=26^\circ$ では変位の発生が見られない結果が得られた。

7. 対策工の実施

実際に生じた変状に対しては、前述のDDA解析によるシミュレーション結果から得られた弱線の強度を用いて極限平衡法による解析を行った。解析結果は $c=0\text{MPa}$ とした場合、 $\phi=25^\circ$ では安全率 $F_s=0.964$ 、 $\phi=26^\circ$ では $F_s=1.008$ となり、シミュレーション結果と一致する結果が得られた。対策工の検討に当たっては、現状ののり面が降雨を受けても累積的な変位や変状が全く観測されていないことから、現状安全率 $F_s=1.1$ 程度として、目標安全率 $F_s=1.20$ を満足する対策工を検討した。また、のり面長が長大であるため、図-9に示すようにアンカー工を効率的に配置することで対処することとした。

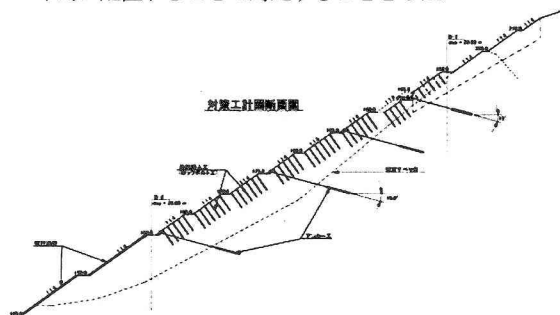


図-9 対策工計画断面図

8. あとがき

当該地では、準備工事を含めて7年間にわたり、和泉層群ののり面掘削がおこなわれている。和泉層群のような砂岩・泥岩の互層からなる弱線の発達した岩盤掘削で

は、脆弱化しやすい泥岩層の層すべりや切土施工後の応力解放や応力の再配分によって、ゆるみゾーンを形成する素因があるため、掘削後数年を経過した切土のり面において岩盤すべりが発生することも珍しくない。

当該地では、準備工事の段階で仮設のり面に岩盤すべりが発生したが、種々のモニタリングを通して、崩壊形態や層間の強度¹⁾を求めることができた。また、これにより、将来の長大のり面掘削の標準安定勾配とその後の観測施工の提案¹⁾を行うことが可能であった。本工事においては、これらの提案に基づいたのり面観察等による観測施工を実施したことによって、崩壊予測や対策工の早期検討が可能となり、効果的な対策工の施工が実施できたものと考えられる。

また、このような観測結果を用いた崩壊状況のDDA解析によるシミュレーションから、弱線の強度を求めることが可能であり、解析結果を用いた極限平衡法による対策工の検討が有効な手段となることがわかった。

のり面観察等による観測施工が、崩壊予測や対策工の早期検討に有効であることを改めて確認できた。現在のところ(図-10)対策工の施工は、順調に進んでいる。

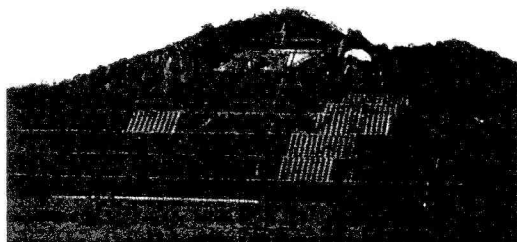


図-10 対象のり面の現状(2005年9月撮影)

参考文献

- 1) 第11回岩の力学国内シンポジウム講演論文集：関西国際空港第2期埋立工事岬町土取場における和泉層群の長大のり面对策工の考え方, pp.104, 2002.
- 2) 計算力学レクチャーシリーズ⑥不連続変形法(DDA)：日本計算工学会編：大西有三, 佐々木猛, Gen-Hua Shi著, pp. 78-91.

CASE STUDY OF FAILURE IN LARGE SLOPE CONSISTING OF IZUMI SANDSTONE AND MUDSTONE

Yoshifumi MARUKI, Takumi NAKAI, Meiji Ryu
Katsumi HATAKEYAMA, Hirokazu SAKAIDA, Yuzo OHNISHI

In large slope excavations with the discontinuous planes existing in Izumi sandstone and mudstone, the slope stability are strongly influenced by the stress release and stress redistribution. In this report, We are mentioned about the slope protection that a slope failure occurred after more than two years passed after the excavation. This failure was simulated the shape of collapse and the shear strength of slip surface in large slope consisting of Izumi formation could determine by the DDA analysis.