

赤黄色土化した花崗岩風化残積土の日韓比較

Comparison of Granite Weathered Residual Soil to Lateritic Soils between Japan and Korea

鄭 斗 永 (じょん どうよん)

韓国全北大学校教授 土木工学科

嘉 門 雅 史 (かもん まさし)

京都大学教授 防災研究所

1. はじめに

日本や韓国には、花崗岩風化残積土が散在し、地域的には赤黄色土化し分布している。これら風化残積土は建設用材料として広く利用されているが、材料としての工学的諸問題や地質環境に基づいた風化特性の調査の相違などの問題を有しており、また国際間の相互情報の交換が望ましい。

ここでは鳥取県下の布勢地域と韓国の全州市牙中地域、慶州仏国寺地域の風化残積層の赤黄色土化した地層の地質構造と地形的状況、風化残積層の物性および化学鉱物学的分析値等について日韓両地域の風化状況を比較する。なお、鳥取地域の白亜紀花崗岩と韓国の全州地域のジュラ紀大宝花崗岩の残積土は、化学鉱物成分が類似しており、石英の量が多い花崗岩質である。さらに両地域は、ほぼ同位の緯度線上にあることから日韓残積土の比較地域として選定したものである。

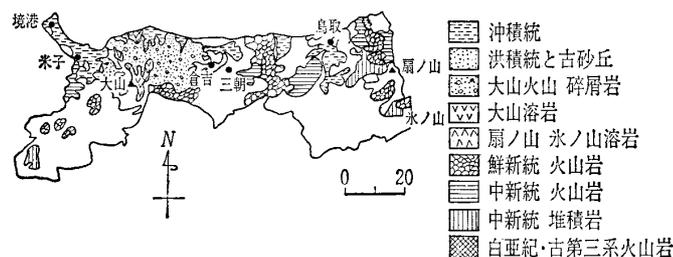
2. 残積土の地形地質および地盤特性

2.1 地形地質の概要

2.1.1 鳥取県の地理地形の概要

鳥取県は中国脊梁山地の北斜面を海岸沿いに細長く伸び、東西 120 km、南北 20~40 km、面積 3493 km²である^{1),2)}。県下の大部分が山地によって占められ、南の県境をなす中国脊梁山地は東部と中部および中部と西部の間の自然的境界になっている。西部の大山(標高 1729m)は代表的な火山地形を示している。風化残積土層の地形は山地頂部平坦面を有する丘陵地形であり、赤色~褐色を呈する粘性土状風化帯(風化残積土)として分布している。

本県の山地地質は南半部の古生層花崗岩類など



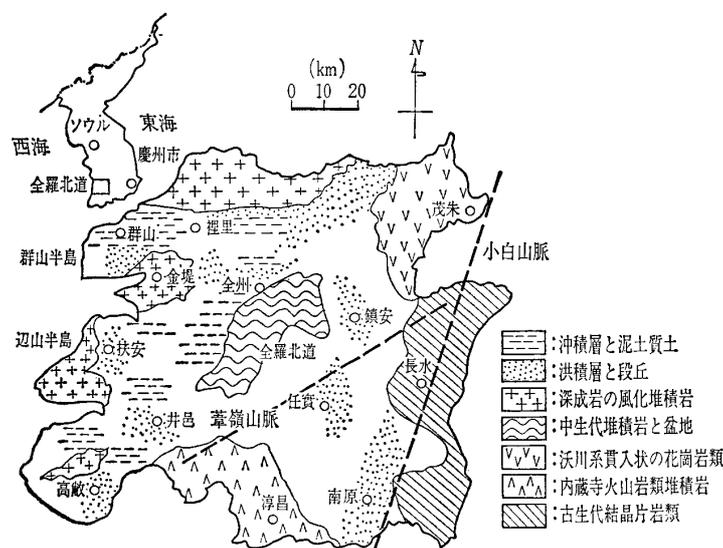
図—1 鳥取県第三紀および第四紀の地質

と、北半部の中新世~鮮新世以降の堆積岩および火山岩類を主体として構成されている。大山火山に由来する火山灰層は、各々の山体における最上位被覆層として県下に広く分布している。

また、中生代の花崗岩類は白亜紀から古第三紀に侵入した岩類として、西部~東部に広く分布し深層凝灰岩、流紋岩、火山岩などである(図—1)。

2.1.2 韓国全羅北道の地理地形の概要

韓国全羅北道は、ソウルから 300 km 南西部に位置し、本道の東部は小白山脈が北東方向に走向、その中央部から西南方向に葦嶺山脈が走向し鎮安盆地



図—2 韓国全羅北道第三紀および第四紀の地質・地理

とに占められ、西部は群山半島および辺山半島が位置し、リアス式海岸線となっている。東西 120 km, 南北 60~70 km, 面積 8 052 km² である。西部~中央部は沖積層の平野が広く分布し、韓国第一の広い平野である。本道の地形は東高西低の階段状丘陵台地が特徴であり、海拔 100m 未満の平坦地が15%を占め、100~500m の丘陵台地形平坦地が 33%, 500~1 000m の高地が15%, 1 000m 以上の山岳地が2.5%を占めている。また海拔100m以下の平地と100~500mの丘陵地はほぼすべて赤黄色~赤褐色を呈し、海岸線の長さは 261 km, 沿岸は浅海干潟地が多い。

本道の地質概要^{3)~5)}は、東南部に古生代の結晶片岩火山岩などが、東北部に中生代の沃川系貫入状の花崗岩類とジュラ紀から古第三紀の角閃石花崗岩類が分布している。中央部から西部は中新世~鮮新世以前の堆積岩と花崗岩類が広く分布し、本層の最上位被覆層は黄褐色を呈し、さらにその下位部は赤黄色土化し、深層風化による花崗岩の強風化残積土(まさ土)である。

第四紀の沖積層の泥土質堆積層は西南部~中央部に広く分布している。本道の赤黄色土の母体は黒雲母花崗岩、片状花崗岩などである(図-2)。また慶州仏国寺地域は海拔400~500mの丘陵山地であり、急傾斜の森林黄褐色土となっており、同じ黒雲母花崗岩である。

2.2 気象概要

母岩の風化過程における土壌生成因子として雨量

と気温の2要因が重要である。残積土は一般に二重層土を構成する。すなわちシリカ分が溶脱して赤黄色土が地表面にでき、さらに地下水へ塩が移動し、それらが集積してできるラテライト性土との二重層土から成り立っている。

気象要素を考慮した土壌型の指標であるRang(ラング)の雨量係数(年平均降雨量 mm/年平均気温 °C)を用いて、両地域を比較すると以下のとおりである。両地域はほぼ同じ北緯 36° 付近の温帯の中緯度気候に属し、過去10年間の降水量のデータは次のようになる^{6),7)}。

- ・鳥取市：年平均気温 (14.3°C), 年平均降雨量 (1 856 mm), 雨量係数 (130)
- ・全州市：年平均気温 (12.2°C), 年平均降雨量 (1 326 mm), 雨量係数 (108)

両地域の気候は若干の因子差があり、赤色~赤黄色土の土壌分布と両地域の雨量係数の比較では、約20程度異なっている。

2.3 地域的地盤の土質区分

鳥取県下の平地地盤と全羅北道の準平原地帯である段丘台地の海拔 100m 以下の地盤の土質区分を第四紀完新世~更新世と第三紀以前に分けて概略的に表-1に示した。本表は鳥取県下の地盤特性⁹⁾に全羅北道の特性を付加して整理した。表中の()は全羅北道の内容である。鳥取県のローム層は下部砂質土層と最下部砂質土層・最下部粘性土層との境界であり、第四紀完新世に堆積した沖積層の分布厚は

表-1 土質区分の概要比較

地質区分	地質名	地質的特性	N 値	
			鳥取県	全羅北道
第四紀完新世	最上部砂質土	表層(埋立土を含む有機質混じり) (沖積層の泥土質, 有機質混じりローム質土) 河川氾濫原堆積層(河床上部砂礫堆積層) 河成堆積, 新砂丘(残積層) 海成堆積層, 有機物混じり(沿岸海成堆積層)	0~3	0~5
	最上部粘性土層			
	最上部礫質土層		<10, >10	>10
	上部砂質土層			
	上部粘性土層			
第四紀更新世	下部粘性土層	海成堆積層, 火山灰軽石混じり(海成堆積層)	5~15	
	下部砂質土層		>15	>20
	下部礫質土層	河成堆積物, 古砂丘(花崗岩質風化残積土層)	>20	>20
	ローム土層			
	最下部粘性土層	火山灰, 火山砂等の火山堆積物(砂礫堆積物)	>10	>10
	最下部砂質土層	過圧密粘土(過圧密層)		
	最下部礫質土層	扇状地性基底礫層, 段丘礫層, 火山碎屑流(段丘砂礫層)	>50	>50
第三紀以前	基盤岩類	[火成岩] 花崗岩, 火山岩, 流紋岩, 玄武岩(花崗岩, 片状花崗岩, 石英斑岩) [堆積岩] 礫岩, シルト岩, 泥岩, 凝灰岩, 凝灰角礫岩(砂岩 礫岩)		

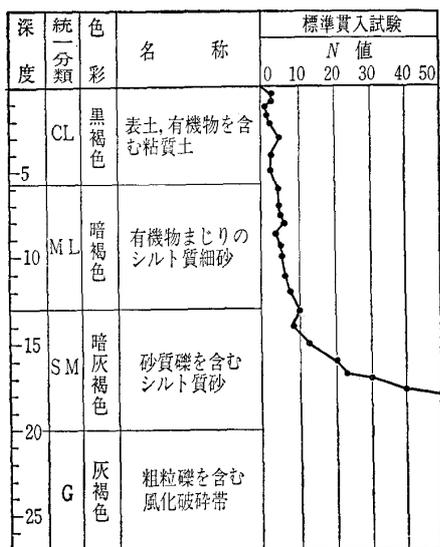


図-3 群山地域の土層の柱状図

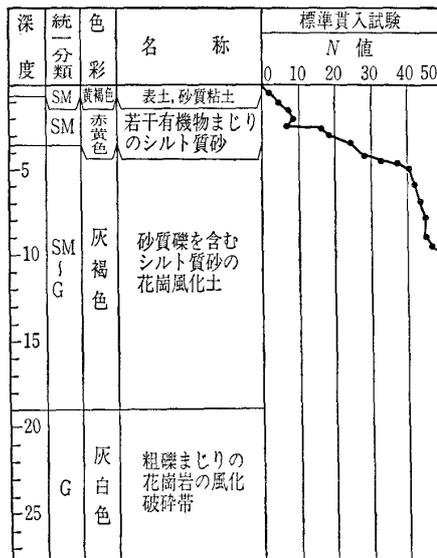


図-4 全州地域の土層の柱状図

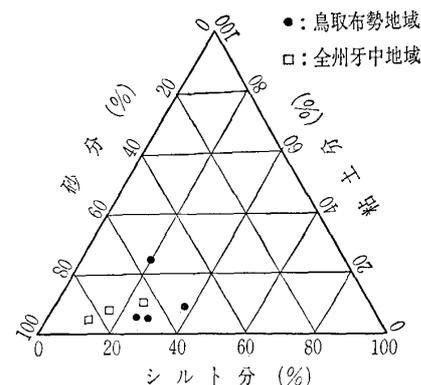


図-5 花崗岩風化残積土の粒度分布

最大30m程度、これに対して、第四紀更新世に堆積した洪積層はこの沖積層下に20m以上の層厚で分布し軟弱地盤が形成されている。

全羅北道は完新世の地層が最上部粘性土層（ローム層）から下部粘性土層を境界とし、分布厚は18m程度の軟弱地盤である。更新世の地層の花崗風化残積土層は段丘台地の下部砂質土層および最下部礫質土層を境界にしている（図-3）。また全州地域では図-4に示すように表層は森林黄褐色土の砂質ローム、その下層は赤黄色土で5～6m程度の厚さである。これらの残積土層は深層風化層で大体30～40mの層厚として分布している。地盤の標準貫入試験値(N)については、各層の平均値を表-1に示す。同表は全羅北道の花崗岩風化残積土層を、鳥取県の沖積粘性土層と下部砂質土層などと対比し、あわせて両地域のN値を比較したものである。両地域の地盤支持力特性はほぼ同じ程度であることがわかる。

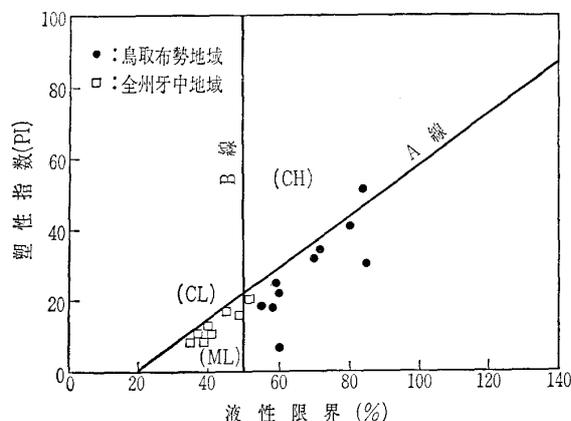


図-6 花崗岩風化残積土のコンシステンシー

3. 地域残積土の土層断面と物理的性質

3.1 地域的土層断面

花崗岩風化残積土の土層断面の一例として表-2のように鳥取市布勢地域と全州市牙中地域を層位別に区分し、深度別に層位（T:シリーズ, J:シリーズ）と表現した。表-2の土層断面は両地域ともに

表-2 物理的性質の概要

試料	地区名	鳥取市布勢					全州市牙中					
		T-1	T-2	T-3	T-4	T-5	T-6	J-2	J-3	J-4	J-5	J-6
土層断面区分注)		A	B	C	D	E	E	B	C	D	E	E
深度 (m)		0.8	4.0	15.0	20.0	25.0	35.0	1.5	15.0	25.0	37.0	45.0
統一分類		VH	SM	SM	SM	G	G	SM	SM	SM	G	G
自然含水比 (%)		26.8	21.2	18.0	18.9	4.1	1.0	22.0	19.0	24.0	14.0	8.0
土粒子比重		2.67	2.657	2.657	2.639	—	—	2.67	2.68	2.73	—	—
細粒分含有量 (%) (<75μm)		82.0	38.0	34.1	26.1	—	—	52.0	30.0	22.0	—	—
液性限界 (%)		84.8	—	—	—	—	—	38.5	—	—	—	—
塑性限界 (%)		32.5	N. P.	N. P.	N. P.	—	—	25.8	N. P.	N. P.	—	—

注) 土層断面はA層からB層の順に地下深くなり新鮮岩に至る。

報文-2313

花崗岩残積土のまさ土化した（韓国では花崗土と呼ぶ）丘陵地帯である。残積土層の表層は布勢地域では火山灰土の被覆層であるのに対して、海拔 200m 程度の丘陵地帯の傾斜地である牙中地域では、赤黄色土である黄褐色のローム質土B層であるとともに下部層は深層風化残積土である。

3.2 物理的性質

両地域の風化残積土の概略的な物理的性質を表一2と図-5, 6に示している。布勢地域と牙中地域の土の分類は共通してシルト質砂(SM)であるが、細粒分含有量は上層部(T-1およびJ-2)においては前者が多く細粒化されている。一方、下層部(T-2~4およびJ-3~4)では両者の粒度分布はほぼ同じ範囲にある。また表層付近の赤黄色土(布勢地域ではA層, 牙中地域ではB層)は塑性図上のA線下に分布し、前者は(CH), 後者は(ML)に分類されている。布勢地域は火山灰風化物の粘土と牙中地域はシルト質土に分類され、前者が後者よりも塑性指数が大きいことが認められる。したがって、風化残積土の生成は地質要因に依存していることが明らかである。

4. 地域残積土の組成鉱物

母岩ならびに風化残積土の組成鉱物の変化を深度別に対比してみるため、X線回折分析(粉末法)を行い、布勢地域、慶州仏国寺地域、全州牙中地域の分析結果を図-7~9に示している。図の同定結果から観察したところ主な共通一次組成鉱物は石英、長石、雲母である。粘土鉱物はカオリナイトであり、クロライト、パーミキュライトなども含まれている。慶

州仏国寺地域のパーミキュライトの出現と結晶度が比較的強いことから、この風化残積土は風化がまだ進行中とみられる黒雲母花崗岩を母岩とした特徴的

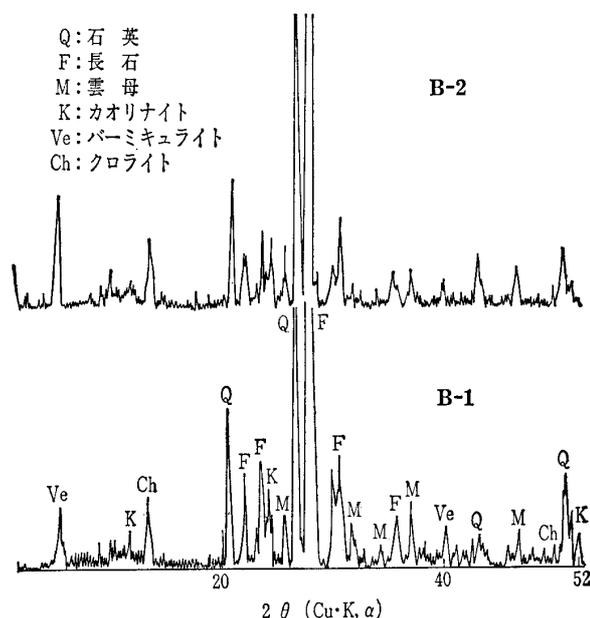


図-8 X線回折の同定結果(慶州仏国寺地域)

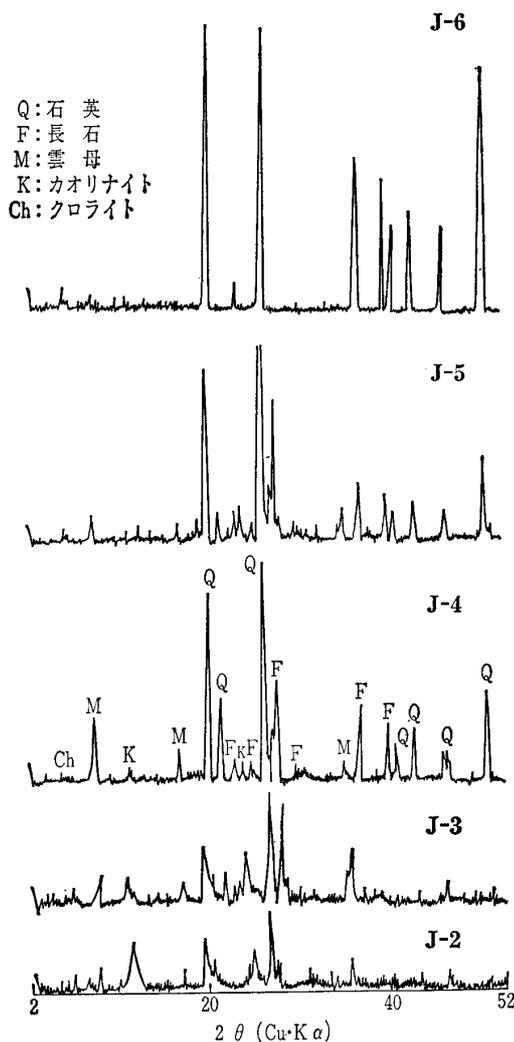


図-9 X線回折の同定結果(全州牙中地域)

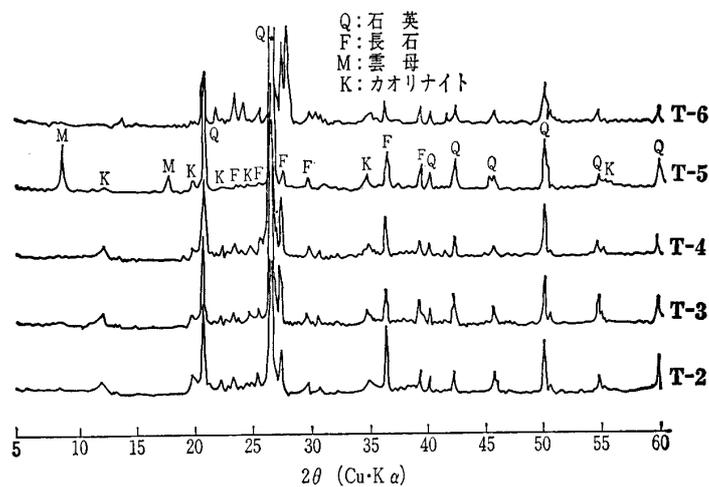


図-7 X線回折の同定結果(鳥取市布勢地域)

表—3 化学組成の比較

1) 鳥取市布勢地域														
試料	深度 (m)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	Na ₂ O	CaO	MgO	K ₂ O	MnO	H ₂ O (+)	H ₂ O (-)	合計	強熱減量
T-1	0.80	52.0	24.4	5.00	0.29	0.66	0.89	0.23	1.26	0.017	9.92	3.98	98.647	
T-2	4.00	71.6	15.9	1.28	0.29	0.43	0.89	0.16	3.55	0.028	4.04	1.08	99.248	4.28
T-3	15.0	72.3	15.3	1.31	0.22	0.55	0.66	0.20	4.72	0.059	2.88	1.06	99.259	4.30
T-4	20.0	70.5	16.5	1.21	0.29	0.63	0.94	0.22	4.81	0.029	3.12	1.12	99.279	
T-5	25.0	73.5	16.9	0.89	0.33	0.38	0.89	0.19	4.55	0.111	0.73	0.84	99.311	1.81
T-6	35.0	72.8	13.3	0.99	0.51	2.90	2.34	0.19	5.05	0.024	0.75	0.62	99.584	

2) 慶州市仏国寺地域														
試料	深度 (m)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	Na ₂ O	CaO	MgO	K ₂ O	MnO	H ₂ O (+)	H ₂ O (-)	合計	強熱減量
B-1	5.00	72.61	14.90	2.00	0.47	2.96	1.97	0.52	2.71	0.02	1.40	0.57	100.13	1.7
B-2	30.0	72.24	15.80	1.39	0.19	3.22	2.31	0.45	2.45	0.02	0.60	0.47	100.14	1.0

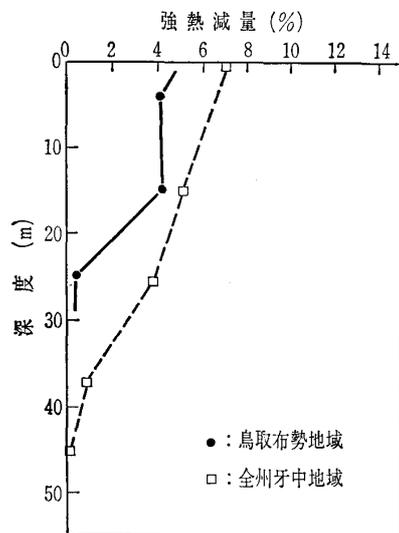
3) 全州市牙中地域																
試料	深度 (m)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	Na ₂ O	CaO	MgO	K ₂ O	MnO	P ₂ O ₅	TiO ₂	H ₂ O (+)	H ₂ O (-)	合計	強熱減量
J-2	1.30	58.60	21.50	6.70	0.32	0.32	0.30	1.80	2.62	tr	0.07	0.77	7.0	2.1	102.10	7.0
J-3	15.0	63.30	20.10	4.10	0.14	1.37	0.40	1.20	3.46	tr	0.07	0.89	5.0	2.0	102.03	5.1
J-4	25.0	59.10	12.70	6.19	0.08	0.11	13.9	3.0	0.63	0.82	0.23	0.53	2.7	4.1	104.09	3.8
J-5	37.0	76.00	13.20	1.83	0.17	1.74	0.30	0.60	4.07	tr	0.07	0.22	1.8	1.1	101.10	1.5
J-6	45.0	98.45	0.50	0.45	0.09	0.33	tr	tr	0.18	tr	0.01	0.01	0.3	0.1	100.12	0.2

な風化物と考えられる。

5. 地域残積土の化学組成と風化指標

5.1 化学組成

鳥取県布勢と、慶州仏国寺、全州牙中地域の風化残積土の化学組成の分析結果を表—3に示した。また、両地域の深度別強熱減量の結果は図—10のとおりである。表—3の化学組成値は地盤深度の変化に伴って、珪酸 (SiO₂) をはじめとするアルカリおよびアルカリ土金属 (Na₂O, CaO, MgO, K₂O など)



図—10 深度別強熱減量の結果

の溶脱による減少と、アルミナや酸化鉄などの集積による増加傾向がみられる。残積土の赤黄色土の主な成分である三酸化鉄 (Fe₂O₃) や酸化アルミニウム (Al₂O₃) は、地下水や浸透水の流れによる溶出と土粒子間への沈殿という富化現象を示しており、また同時に強熱減量も増大している。さらに強熱減量の値が大きい風化残積土は非晶質物質の含有量が大きいものである。図のように深度方向へ強熱減量が減少する傾向は、風化の進行程度が地表面付近で最も進んでいることを示し、化学組成からも両地域は類似の特性を有するものと認められる。

5.2 風化程度の指標

風化残積土の風化程度の進み具合を指標的に定量

化学的風化の指標 (CWI: %)	15 20 30 40 50 60 70 80 90								
	新鮮岩 風化花崗岩			風化残積土 (ラテライト性土)			ラテライト		
日本島根江津和木地域 (35.5°N)	[Bar chart showing CWI values]								
日本鳥取市布勢地域 (35.5°N)	[Bar chart showing CWI values]								
韓国慶州仏国寺地域 (36°N)	[Bar chart showing CWI values]								
韓国全州市牙中地域 (35.5°N)	[Bar chart showing CWI values]								
ホンコン地域 (23°N)	[Bar chart showing CWI values]								
ナイジェリア カトナ地域 (10°N)	[Bar chart showing CWI values]								

図—11 各地の風化土の化学的風化の指標

報文—2313

化するため、両地域の化学組成をもって化学的風化度の指標を図—11のように整理した。花崗岩風化残積土の風化度の指標は実用的にまさ土中に含まれる化学成分から、化学的風化度の指標の一つとして次のような CWI の指標を用いた^{8), 9)}。

化学的風化度の指標 (CWI)

$$= \frac{\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2 + \text{H}_2\text{O}(+)}{(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2 + \text{H}_2\text{O}(+) + \text{CaO} + \text{K}_2\text{O} + \text{FeO} + \text{MgO} + \text{SiO}_2)} \times 100 (\%)$$

図—11のようにまさ土化した花崗岩風化残積土(花崗土)の風化の指標は、風化物の種類が新鮮岩から風化残積土(ラテライト性土)の間の風化過程にあり、鳥取市布勢および全州市牙中地域の赤黄色土は指標上ほぼ同じ範囲内に存在するが前者が若干進行している。また両地域の地盤深度方向への変化は図—12のようになり、上層は風化の指標が40%程度であり深度方向に減少している。図—11のホンコン地域は亜熱帯地域のラテライト性土であり、またカトナ地帯は熱帯地域のラテライトである。また、熱帯地域のラテライトを定義する場合の $\text{SiO}_2/(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3)$ は亜熱帯地帯の指標としては実用性がないとされている²⁾。したがって、中緯度気候である温暖湿潤地帯ではまさ土化した花崗岩風化残積土

の吸着水 [$\text{H}_2\text{O}(+)$] の増加により、土の加水分解が進行するため図—10のように、強熱減量を用いた化学的風化度の表示方法も有効であると考えられる^{10), 11)}。

6. ま と め

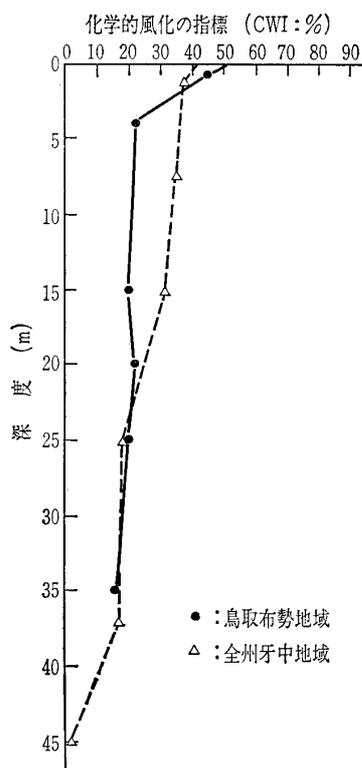
中緯度気候に属する鳥取市布勢地域と韓国の全州市牙中地域および慶州仏国寺地域の風化残積土は、母岩が花崗岩に由来する深層風化のまさ土化した赤黄色土である。両地域の赤黄色土地帯は丘陵山地の台地、または段丘地形に生成されているのが共通的特徴であり、両地域の土の物性は共通してシルト質砂(SM)である。前者において風化が進行し、細粒化の程度が大きい。

組成鉱物もかなり類似しており、 $\text{R}_2\text{O}_3(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3)$ 鉱物が多いこと、また強熱減量試験から非晶質物質を含むことなどが認められる。風化度の指標として化学的風化度でみられる差は成因過程と生成環境によるものと考えられる。

参 考 文 献

- 1) 木山英郎・伊藤 徹・岩本志信：中国地方の地形地質および地盤特性(2)、鳥取県の地盤特性、土と基礎、Vol. 38, No. 3, pp. 15~27, 1990.
- 2) 金子誠二・末岡 徹・安 伸二：熱帯および温帯地方における花崗岩質風化残積土の土質化学的検討、第17回土質工学研究発表会講演集、pp. 77~80, 1982.
- 3) 元 鐘寛ら：地質学原論、祐成文化社、1989.
- 4) 韓国動力資源研究所：韓国地質圏。
- 5) S.G. Lee and M.H. de Freitas: A revision of the description and classification of weathered granite and its application to granite in Korea, Journal of Engineering Geology, London, Vol. 22, pp. 31~48, 1989.
- 6) 川口桂三郎ら：土壌学、朝倉書店、1968.
- 7) 山内豊聡：世界の特殊土の展望、土と基礎、Vol. 26, No. 11, pp. 9~17, 1978.
- 8) 土質工学会編：土質試験の方法と解説、土質工学会、1990.
- 9) 菅野一郎・本荘吉男・有村玄洋：花崗岩に由来する赤黄色土中の黒雲母の風化、粘土化学(2)、粘土研究会、技報堂、pp. 217~228, 1960.
- 10) M.D. Gidigas: Laterite soil engineering, Developments in Geotechnical Engineering 9, Elsevier Scientific Publ. Co., 1976.
- 11) 三浦 清：深成岩の風化に関する研究(第1報)、応用地質、Vol. 14, No. 13, pp. 1~16, 1973.

(原稿受理 1993. 8. 30)



図—12 化学的風化指標と深度の関係