

I S S N 0386—5878

土木研究所資料第2341号

土 木 研 究 所 資 料

公共緑化のための下水汚泥の 施 用 指 針 (案)

昭和61年 3 月

建 設 省 土 木 研 究 所
道 路 部 ・ 緑 化 研 究 室

Copyright © (1986) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。
したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の承認を得ずしてこれを行ってはならない。

公共緑化のための下水汚泥の 施用指針(案)

緑化研究室 室 長 井 上 忠 佳
主任研究員 田 代 順 孝
藤 原 宣 夫*

*現東北地建みちのく杜の湖畔国定公園
工事々務所

要 旨

下水道汚泥(脱水汚泥, コンポスト化汚泥, 乾燥汚泥)を公共緑化において施用する場合の技術的事項について, 昭和55年度より同59年度まで実施した調査研究の成果を踏まえて技術指針(案)としてとりまとめたものである。内容は①指針(案)編と②解説編にわかれており, 解説編では①下水汚泥の種類と性質, ②施用に関する規制, ③施用の有効性, ④施用方法(対象, 施用量, 工法)について, 調査研究の内容をもとに解説している。

キーワード: 公共緑化, 下水汚泥, 肥料効果, 土壌改良効果, 生長促進, 施用方法

は　じ　め　に

本報告書は、昭和55年度から59年度までの5年間にわたって実施した「下水汚泥の都市緑化への利用に関する調査の結果」にもとづいて緑化研究室においてとりまとめた「公共緑化における下水汚泥施用指針(案)」について報告するものである。

本指針(案)をとりまとめるための基礎となった各年度の調査内容の概要は以下のようである。

- 55年度　文献調査, 実験準備
- 56年度　①樹木に対する効果試験(圃場), ②芝生に対する効果試験(圃場)
- 57年度　①の継続, ③樹木に対する効果試験(ポット)
- 58年度　①の継続, ④芝生に対する効果試験(圃場)
- 59年度　①, ②, ③, ④の結果とりまとめ, 指針(案)作成

都市緑化の推進が全国的に様々な場面で展開されており、植栽基盤の造成において下水汚泥の活用はきわめて有効であることから、各方面で下水汚泥施用の参考となれば幸いである。(昭和61年3月)

緑化研究室長　井　上　忠　佳
主任研究員　田　代　順　孝

目 次

はじめに

I. 公共緑化における下水汚泥の施用指針(案)	1
II. 解 説	5
I. 下水汚泥の処分と緑地施用	5
II. 下水汚泥の種類と性質	7
1. 下水処理と汚泥処理	7
2. 下水汚泥の種類と性質	8
3. 下水汚泥の成分	8
III. 下水汚泥にかかわる規制	11
1. 下水汚泥にかかわる国内の規制	11
2. 諸外国におけるガイドライン	12
IV. 下水汚泥の緑地施用	14
1. 下水汚泥中の成分とその働き	14
2. 下水汚泥の土壌中での分解	16
3. 下水汚泥の緑地利用への有効性	17
V. 下水汚泥施用の方法	24
1. 下水汚泥施用の手順	24
2. 下水汚泥施用の目的と対象	25
3. 下水汚泥の施用対象緑地・施用汚泥と工法	26
4. 施用汚泥の種類の検討	29
5. 下水汚泥施用量の目安	33
6. 下水汚泥の入手	38
7. 下水汚泥の土壌への混合と発酵	39
8. 施 工	41
参 考 文 献	48
資 料	50
写 真 集	51

I. 公共緑化における下水汚泥の施用指針(案)

第1章 総 則

本指針(案)は都市緑化等の公共緑化において、下水汚泥を施用する場合の技術指針(案)として定めたものであり、公共緑化の実施に際して適正に運用するものとする。

第2章 対象とする下水汚泥

本指針(案)で取り扱う下水汚泥は①脱水ケーキ、②コンポスト化汚泥、③乾燥汚泥の3種類とする。

第3章 下水汚泥にかかわる規制等について

下水汚泥の施用にあたっては、下記の基準等の内容との斉合性を保ち、安全性について十分留意するものとする。

1. 肥料取締法における特殊肥料の規定
2. 金属等を含む産業廃棄物に係る判定基準を定める総理府令(1970)
3. 都道府県等における指導指針
4. 諸外国における施用に係るガイドライン

第4章 施用の目的と期待する効果

下水汚泥を施用する場合の目的および期待する効果は次のような内容を含むものとする。

1. 植栽初期における生長促進
2. 土壌の物理性の改善
3. 土壌の化学性の改善
4. 植栽管理段階での生育の安定化

第5章 施用方法

5.1 施用の手順

施用にあたっては次の手順に従って行うことが望ましい。

- ① 施用対象と目的の設定
- ② 施用方針および方法の決定
- ③ 汚泥の種類と施用量の決定
- ④ 汚泥の入手先、搬入方法の決定
- ⑤ 施 工

5.2 対象地の土壌環境の検討と施用方針の決定

汚泥を施用する対象地における土壌環境をあらかじめ調査し、植栽に対する生育阻害要因を抽出し、施用の基本方針を決定するものとする。表1に土壌環境、改良の基本方針、施用の基本方針の考え方の例を

あげておく。

表-1 汚泥施用の方法と汚泥の種類

汚泥施用の 目 的	施用時期	方 式	適 用 対 象			汚 泥 の 種 類		
			大面積の緑地 都市公園 工場緑地	带状の緑地 緩衝緑地 防風林	点状の緑地 街路樹 小公園	脱 水 汚 泥	乾 燥 汚 泥	汚泥コ ンポスト
緑地の造成	基盤造成時	全面混入・全面盛土	○	○	×	○	△ ¹⁾	△ ¹⁾
	植 栽 時	植 穴 客 土	○	○	○	△ ²⁾	△ ⁵⁾	○
		スポット施用(元肥)	○	○	○	△ ²⁾⁴⁾	○	○
		地 表 散 布	○	○	○	△ ²⁾⁴⁾	○	○
緑地の維持 ・ 管 理	植 栽 後	ス ポ ッ ト 施 用	○	○	○	△ ²⁾⁴⁾	○	○
		地 表 散 布	○	○	○	△ ²⁾³⁾⁴⁾	△	△ ³⁾

- 1) コストが高くなる ○ 適 正
2) 事前に発酵・乾燥が必要 △ 場合により可
3) 臭気等の不快感がある × 不 適
4) 作業性が悪い
5) 事前に発酵が必要

5.3 施用方法

緑地において施用する方法としては全面混入(全面盛土)、植穴客土、スポット施用、地表散布がある。それぞれの概要を示せば以下のようなものである。

5.3.1 全面混入(全面盛土)(脱水ケーキ、コンポスト化汚泥)

あらかじめ整地された植栽地盤に汚泥を散布し、耕耘により一定の深さまで均一に混入する方法であり、表土の失われた土地での大規模な植栽地盤の造成に際して適用出来る。

なお、有効土層厚が確保できない場合には、盛土を行い、同様の方法で混入を行う。

5.3.2 植穴客土(コンポスト化汚泥、乾燥汚泥)

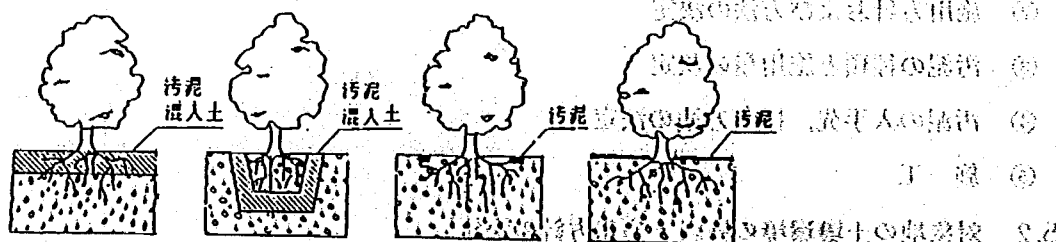
造成後、樹木の植栽時に植穴を掘ったところに客土する方法であり、この客土に混入して施用するものであり、比較的限られたスペースでの植栽に用いる。

5.3.3 スポット施用(コンポスト化汚泥、乾燥汚泥)

樹木や草本の植栽後に、基肥や追肥として養分補給を目的として行う方法である。

5.3.4 地表散布(コンポスト化汚泥、乾燥汚泥)

緑地の造成、植栽後に樹木や芝生に対する基肥や追肥として養分補給のために行うものである。



全面混入 植穴客土 スポット施用 地表散布

5.4 施用量の目安

5.4.1 肥料的な利用

一般に必要とされる窒素量から換算して汚泥量を算定すればよいのであるが、ここでは、緑化工事対象地の元肥として利用する場合の施用量の目安の例をあげる。

窒素成分から算定した汚泥使用量の目安
(緑化工対象地の元肥として)

対象土壌	N施肥量*)	脱水ケーキ使用量**)	コンポスト汚泥使用量***)
普通土 粘土混じり土 頁岩	7.2 kg/10a	4.8 t/10a	1.7 t/10a
火山灰土 風化軟岩	10.8	7.2	2.6
砂質土 マサ土 シラス土	14.4	9.6	3.4

*) 寺崎：1971

**）含水率 80 %
N成分 2.5 % (乾物中)
有効窒素は約 30 %とする

***）含水率 30 %
N成分 2.0 % (乾物中)
有効窒素は約 30 %とする

5.4.2 土壌改良的な利用

植栽基盤造成時に全面混入の方法で施用するのがよく、その必要量は体積比にして 5～20 %を目安にするとよい。混入厚さと混入割合を加味した施用量算定例をあげる。

汚泥使用量の計算例

	混入厚	混入割合 (体積%)		
		5 %	10 %	20 %
使用汚泥量 (t/10a) (有効窒素量) (kg/10a)	10 cm	3 (4.5)	6 (9.0)	12 (18.0)
	20 cm	6 (9.0)	12 (18.0)	24 (36.0)
	30 cm	9 (13.5)	18 (27.0)	36 (54.0)

汚泥の体積当たり仮比重：0.6 % (切り返し等の作業後)

含水率：80 %

窒素：2.5 % (乾物中)

有効窒素は全窒素の 30 %とした場合

1. *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.

[illegible]

the 1990s, the number of people in the world who are under 15 years of age is expected to increase from 1.2 billion to 1.5 billion. The number of people aged 65 and over is expected to increase from 200 million to 400 million. The number of people aged 15 and over is expected to increase from 3.5 billion to 4.5 billion. The number of people aged 15 and over is expected to increase from 3.5 billion to 4.5 billion. The number of people aged 15 and over is expected to increase from 3.5 billion to 4.5 billion.

1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023, 2024, 2025, 2026, 2027, 2028, 2029, 2030, 2031, 2032, 2033, 2034, 2035, 2036, 2037, 2038, 2039, 2040, 2041, 2042, 2043, 2044, 2045, 2046, 2047, 2048, 2049, 2050, 2051, 2052, 2053, 2054, 2055, 2056, 2057, 2058, 2059, 2060, 2061, 2062, 2063, 2064, 2065, 2066, 2067, 2068, 2069, 2070, 2071, 2072, 2073, 2074, 2075, 2076, 2077, 2078, 2079, 2080, 2081, 2082, 2083, 2084, 2085, 2086, 2087, 2088, 2089, 2090, 2091, 2092, 2093, 2094, 2095, 2096, 2097, 2098, 2099, 2100, 2101, 2102, 2103, 2104, 2105, 2106, 2107, 2108, 2109, 2110, 2111, 2112, 2113, 2114, 2115, 2116, 2117, 2118, 2119, 2120, 2121, 2122, 2123, 2124, 2125, 2126, 2127, 2128, 2129, 2130, 2131, 2132, 2133, 2134, 2135, 2136, 2137, 2138, 2139, 2140, 2141, 2142, 2143, 2144, 2145, 2146, 2147, 2148, 2149, 2150, 2151, 2152, 2153, 2154, 2155, 2156, 2157, 2158, 2159, 2160, 2161, 2162, 2163, 2164, 2165, 2166, 2167, 2168, 2169, 2170, 2171, 2172, 2173, 2174, 2175, 2176, 2177, 2178, 2179, 2180, 2181, 2182, 2183, 2184, 2185, 2186, 2187, 2188, 2189, 2190, 2191, 2192, 2193, 2194, 2195, 2196, 2197, 2198, 2199, 2200, 2201, 2202, 2203, 2204, 2205, 2206, 2207, 2208, 2209, 2210, 2211, 2212, 2213, 2214, 2215, 2216, 2217, 2218, 2219, 2220, 2221, 2222, 2223, 2224, 2225, 2226, 2227, 2228, 2229, 2230, 2231, 2232, 2233, 2234, 2235, 2236, 2237, 2238, 2239, 2240, 2241, 2242, 2243, 2244, 2245, 2246, 2247, 2248, 2249, 2250, 2251, 2252, 2253, 2254, 2255, 2256, 2257, 2258, 2259, 2260, 2261, 2262, 2263, 2264, 2265, 2266, 2267, 2268, 2269, 2270, 2271, 2272, 2273, 2274, 2275, 2276, 2277, 2278, 2279, 2280, 2281, 2282, 2283, 2284, 2285, 2286, 2287, 2288, 2289, 2290, 2291, 2292, 2293, 2294, 2295, 2296, 2297, 2298, 2299, 2300, 2301, 2302, 2303, 2304, 2305, 2306, 2307, 2308, 2309, 2310, 2311, 2312, 2313, 2314, 2315, 2316, 2317, 2318, 2319, 2320, 2321, 2322, 2323, 2324, 2325, 2326, 2327, 2328, 2329, 2330, 2331, 2332, 2333, 2334, 2335, 2336, 2337, 2338, 2339, 2340, 2341, 2342, 2343, 2344, 2345, 2346, 2347, 2348, 2349, 2350, 2351, 2352, 2353, 2354, 2355, 2356, 2357, 2358, 2359, 2360, 2361, 2362, 2363, 2364, 2365, 2366, 2367, 2368, 2369, 2370, 2371, 2372, 2373, 2374, 2375, 2376, 2377, 2378, 2379, 2380, 2381, 2382, 2383, 2384, 2385, 2386, 2387, 2388, 2389, 2390, 2391, 2392, 2393, 2394, 2395, 2396, 2397, 2398, 2399, 2400, 2401, 2402, 2403, 2404, 2405, 2406, 2407, 2408, 2409, 2410, 2411, 2412, 2413, 2414, 2415, 2416, 2417, 2418, 2419, 2420, 2421, 2422, 2423, 2424, 2425, 2426, 2427, 2428, 2429, 2430, 2431, 2432, 2433, 2434, 2435, 2436, 2437, 2438, 2439, 2440, 2441, 2442, 2443, 2444, 2445, 2446, 2447, 2448, 2449, 2450, 2451, 2452, 2453, 2454, 2455, 2456, 2457, 2458, 2459, 2460, 2461, 2462, 2463, 2464, 2465, 2466, 2467, 2468, 2469, 2470, 2471, 2472, 2473, 2474, 2475, 2476, 2477, 2478, 2479, 2480, 2481, 2482, 2483, 2484, 2485, 2486, 2487, 2488, 2489, 2490, 2491, 2492, 2493, 2494, 2495, 2496, 2497, 2498, 2499, 2500, 2501, 2502, 2503, 2504, 2505, 2506, 2507, 2508, 2509, 2510, 2511, 2512, 2513, 2514, 2515, 2516, 2517, 2518, 2519, 2520, 2521, 2522, 2523, 2524, 2525, 2526, 2527, 2528, 2529, 2530, 2531, 2532, 2533, 2534, 2535, 2536, 2537, 2538, 2539, 2540, 2541, 2542, 2543, 2544, 2545, 2546, 2547, 2548, 2549, 2550, 2551, 2552, 2553, 2554, 2555, 2556, 2557, 2558, 2559, 2560, 2561, 2562, 2563, 2564, 2565, 2566, 2567, 2568, 2569, 2570, 2571, 2572, 2573, 2574, 2575, 2576, 2577, 2578, 2579, 2580, 2581, 2582, 2583, 2584, 2585, 2586, 2587, 2588, 2589, 2590, 2591, 2592, 2593, 2594, 2595, 2596, 2597, 2598, 2599, 2600, 2601, 2602, 2603, 2604, 2605, 2606, 2607, 2608, 2609, 2610, 2611, 2612, 2613, 2614, 2615, 2616, 2617, 2618, 2619, 2620, 2621, 2622, 2623, 2624, 2625, 2626, 2627, 2628, 2629, 2630, 2631, 2632, 2633, 2634, 2635, 2636, 2637, 2638, 2639, 2640, 2641, 2642, 2643, 2644, 2645, 2646, 2647, 2648, 2649, 2650, 2651, 2652, 2653, 2654, 2655, 2656, 2657, 2658, 2659, 2660, 2661, 2662, 2663, 2664, 2665, 2666, 2667, 2668, 2669, 2670, 2671, 2672, 2673, 2674, 2675, 2676, 2677, 2678, 2679, 2680, 26

ているが、逆にアルカリ

間に十分な期間をあける

ニアスプレダーなどの機

[illegible]

● 本記事は、著者の取材・調査に基づき、主として、本邦の事情を踏まえて記述したものである。

2000-2001

8 10 11 12
 (0011)
 (11209)
 (0012)

2009 年 12 月 25 日

[illegible]

Ⅱ. 解 説

Ⅰ. 下水汚泥の処分と緑地利用

下水処理過程において発生する下水汚泥の量は、下水道の整備とともに年々増加してきており、今後も増加を続けるものと考えられる。そこで問題とされるのがその処分方法である。現在、下水汚泥の大部分は、陸上及び海面埋立てによる処分がなされており、その割合は約80%に達し、有効利用は15%に過ぎない（昭和57～58年、表1-1）。このように処分の大部分を占める埋立て処分では、その処分地の確保が困難になってきており、特に大量の下水汚泥が発生している大都市圏ではこの問題は深刻である。このような現状から、下水汚泥の処理・処分対策は、今後ますます重要な課題となると考えられ、有効利用の促進が期待されている。

有効利用の方法としては、緑農地への利用、建設資材等としての利用があり、その実施状況は表1-2に示すように、緑農地への利用が大部分を占めている。

表1-1 下水汚泥の処分状況
（昭和57年11月1日～昭和58年10月31日） （1000m³/年）

処理性状	陸上埋立て	海面埋立て	有効利用	その他	計 (%)
脱水ケーキ	815	679	254	13	1,761 (76)
焼却灰	148	123	30	0	301 (13)
乾燥汚泥 注1)	16	0	66	0	82 (4)
消化汚泥その他	3	0	5	169	177 (8)
計 (%)	982 (42)	802 (35)	355 (15)	182 (8)	2,321 (100)

注1) 乾燥汚泥にはコンポスト化されたものも含む （建設省）

表1-2 下水汚泥の有効利用実施状況（昭和58年調査）（1000m³/年）

区分	処理性状	脱水ケーキ	焼却灰	乾燥汚泥	コンポスト	消化汚泥	計
緑農地利用	自治体で実施	194	2	5	60	5	266
	肥料会社等引き渡し	60	8	1	0	0	69
	小計	254	10	6	60	5	335
建設資材等利用		0	20	0	0	0	20
合計		254	30	6	60	5	355

（建設省）

一方、近年の緑地の整備においては、切土・盛土による造成地や海岸埋立地、残土の投棄地など表層土の失われた劣悪な土壌条件地において緑化を図らねばならない場合が多く、このような現場においては、有機質に富む下水汚泥は、植栽基盤整備のための有効な資材として位置付けられるものであり、積極的にその活用を図っていくべきである。

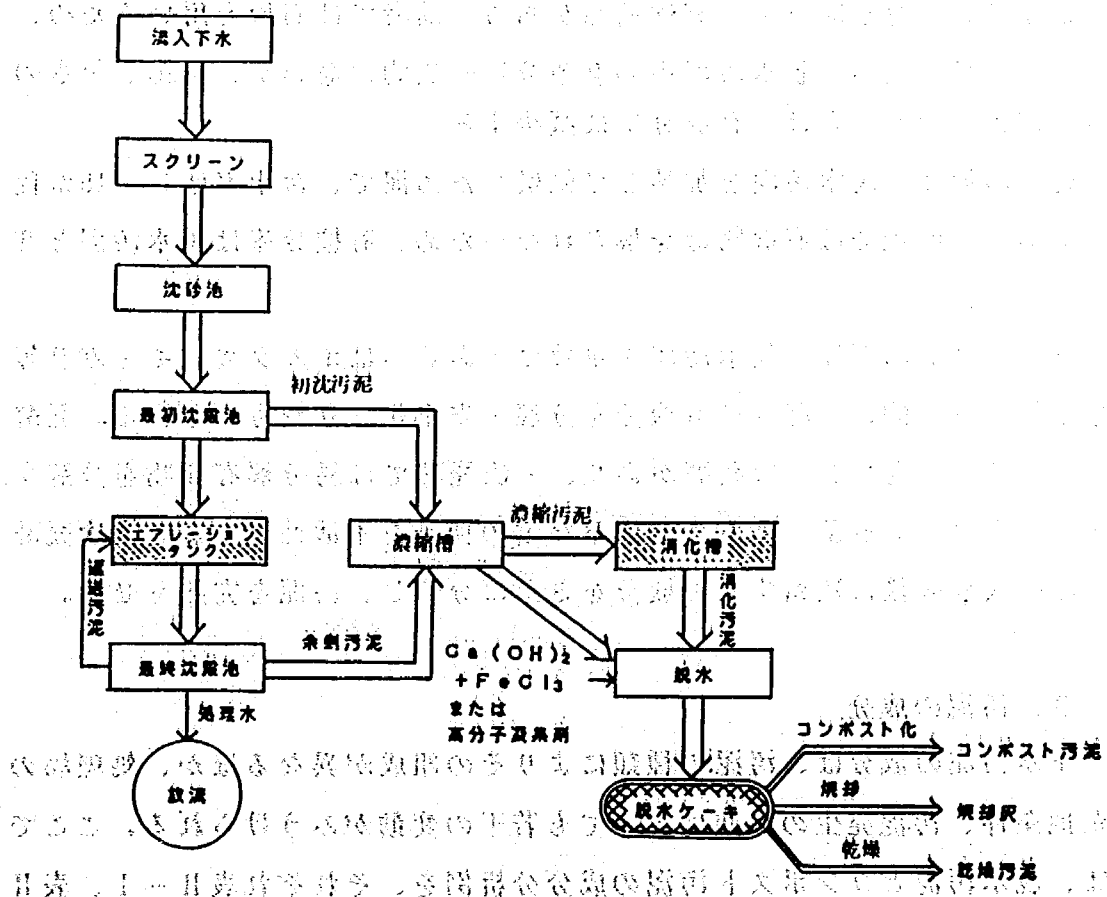
(2000)

II. 下水汚泥の種類と性質

1. 下水処理と汚泥処理

下水管から、下水処理場に流入する生下水の一般的な処理フローは図II-1のようである。まず、スクリーン、沈砂池、最初沈殿池において、生下水中の大きなごみ、砂、沈降性物質が除かれる。最初沈殿池流出水中に残留する細かな浮遊性物質、および溶解性汚濁物質は活性汚泥と呼ばれる微生物の集合体が大量に保持されているエアレーションタンクで処理される。活性汚泥に酸素を供給（エアレーション）すると、活性汚泥は汚濁物質を分解・除去され、同時に活性汚泥が増殖する。エアレーションタンクからの活性汚泥は沈降性がよいため最終沈殿池において処理水と分離され、浄化された処理水は河川、海等へ放流される。

下水処理後に残留する固形物を汚泥といい、最初沈殿池から引き抜かれる初沈汚泥と最終沈殿池から引き抜かれる活性汚泥を主成分とする余剰汚



図II-1 下水処理と汚泥処理の一般的なフロー（標準活性汚泥法）

（日本土壌肥科学会編 下水汚泥1979より修正）

泥からなる。これらの汚泥は水分と有機物を多量に含むため、容量が多く、腐敗しやすい。このため、汚泥の減量化、安定化を目的とした汚泥の処理が行われる。減量化のためのプロセスには、濃縮、脱水、乾燥、焼却がある。安定化のためのプロセスは有機物を分解する消化、コンポストイング（堆肥化）、焼却がある。

2. 下水汚泥の種類と性質

下水汚泥は、どの単位プロセスで汚泥処理を終了させるかによっていくつかの種類に分類されるが、ここでは緑地利用される可能性の高い脱水汚泥、乾燥汚泥、コンポスト汚泥について述べる。

脱水汚泥は、真空力、圧力あるいは遠心力といった物理的な力で濃縮汚泥中の水分を除去した汚泥で、水分は60～80%程度である。濃縮汚泥のままでは脱水は困難であるため、脱水前に薬品（凝集剤）を添加し、汚泥調整を行う。このための一般的な薬品としては、石灰および塩化第2鉄の無機系薬品と高分子凝集剤の有機薬品がある。前者では石灰を用いるため、汚泥のpHは高い。脱水汚泥中の有機分は一般的に高いが、濃縮と脱水の間に消化を行う場合は、有機分率は減少する。

乾燥汚泥は、脱水汚泥を加熱して乾燥した汚泥で、含水率は5～15%程度である。乾燥では有機物は分解されないため、有機分率は脱水汚泥と変わらない。

コンポスト汚泥は、脱水汚泥を単独に、あるいはオガクズ、モミガラ等を添加し好氣的に発酵させ有機分を分解・安定化させたものである。発酵過程には一次発酵と二次発酵があり、一次発酵では易分解有機物を分解するとともに、病原菌、寄生虫、雑草などの種子を不活性化する。二次発酵では一次発酵後に残留する有機分をさらに分解し、汚泥を完熟させる。

3. 汚泥の成分

下水汚泥の成分は、汚泥の種類によりその組成が異なるほか、処理場の立地条件、汚泥発生 の時期によっても若干の変動がみられる。ここでは、脱水汚泥とコンポスト汚泥の成分分析例を、それぞれ表Ⅱ-1、表Ⅱ-2に示す。

表 1-1 下水汚泥の成分分析例 (%)

(河野通佳・山添文雄 1983)

成分	消化プロセスの有無	脱薬水用品	試料数	範囲 (乾物中%)	平均値 (乾物中%)	C.V. (%)
強熱減量	無 無 有 有	無 有 無 有	30 7 50 25	25.9~81.1 38.7~92.4 13.7~89.6 29.4~73.9	52.8 67.6 45.3 52.3	23.3 26.4 30.3 22.2
全窒素	無 無 有 有	無 有 無 有	30 7 50 25	0.8~7.5 2.3~6.3 1.1~4.4 0.8~6.8	3.2 4.4 2.4 3.8	44.3 37.0 33.8 34.4
全リン	無 無 有 有	無 有 無 有	30 7 50 25	0.2~7.1 1.0~3.9 0.4~5.4 0.2~5.6	2.3 2.2 2.6 3.1	64.2 47.4 46.4 40.8
全カリ	無 無 有 有	無 有 無 有	30 7 50 25	0.1~3.4 0.1~3.1 0.1~2.2 0.2~0.9	0.38 0.66 0.34 0.40	173.9 165.3 128.8 44.4
全カルシウム	無 無 有 有	無 有 無 有	30 7 50 25	0.3~44.3 0.2~2.2 3.6~36.0 0.2~4.0	19.4 1.6 16.2 1.7	49.6 32.6 41.5 53.1
全マグネシウム	無 無 有 有	無 有 無 有	21 6 39 20	0.3~2.8 0.4~1.0 0.3~4.3 0.4~1.8	0.85 0.56 1.21 0.92	81.3 43.8 73.0 37.3
全鉄	無 無 有 有	無 有 無 有	15 3 38 20	0.5~7.7 0.3~1.5 0.5~8.7 0.5~5.3	4.1 0.80 4.1 3.1	50.8 73.3 50.6 45.4
水分	無 無 有 有	無 有 無 有	30 7 50 25	63.4~90.8 55.3~82.0 50.2~85.7 64.8~88.4	75.9 73.8 74.0 76.6	7.6 13.8 11.0 6.1
pH	無 無 有 有	無 有 無 有	30 7 50 25	6.0~13.0 5.0~8.4 7.1~12.5 4.8~8.8	10.3 6.4 10.0 7.2	19.8 17.6 16.7 14.6

無機：塩化第二鉄、消石灰などの無機系凝集剤を使用
有機：高分子系の有機凝集剤を使用

表II-2 各種の汚泥コンボストの分析結果（下水汚泥資源利用協議会 1983）

No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
凝集剤の種類	無機（消石灰、塩化第二鉄）				高 分 子				なし（熱処理）	
有機物の添加有無	無				もみがら	パーク	もみがら	無	無	おがくず
発酵日数（日）	27	31	37	14	30	31	46	30	30	52
含水率（%）	20.6	31.6	24.7	22.7	50.3	44.1	40.9	34.5	29	35
熱汚量（%）	20.9	26.4	28.9	41.6	49.7	68.5	63.4	43.4	37	58
pH（H ₂ O）	8.3	8.0	7.9	7.8	6.2	6.6	6.6	7.8	6.5	6.8
導電率（m/cm）	6.7	2.8	4.6	6.73	0.98	1.11	3.1	1.24	3.0	3.2
アンモニア窒素（mg/kg）	3,700	4,300	4,400	5,500	1,400	9,100	6,000	2,700	3,500	3,500
亜硝酸性窒素（mg/kg）	8	3.4	2.4	1	2.7	4.8	4.8	—	ND	2.0
硝酸性窒素（mg/kg）	120	ND	ND	20	72	7.1	7.1	29	ND	2.0
全窒素（mg/kg）	13,700	16,300	16,200	23,000	12,400	35,700	19,000	34,700	23,500	18,000
全炭素（%）	16.5	15.0	15.3	20.7	24.3	33.1	30.6	22.0	18	23
BOD（mg/g）	13.2	4.0	29	20	3	15	23	16	30,000	20,000
COD（mg/g）	79.7	200	220	3,328	151	758	815	—	180,000	290,000
無機炭化率（%）	—	—	—	—	2~10	—	—	—	11	15
温度（℃）	16	36	36	—	27	30	20	20	—	—
酸ガス（%）	0.15	3.5	0.2	—	—	—	ND	ND	—	—
アンモニアガス（ppm）	35	44	60	—	—	—	ND	ND	—	—
ケイ素（%）	3.2	—	—	12~18	18.4	—	17.01	28.28	—	—
カルシウム（%）	17.5	22.4	—	21.3	0.67	—	1.0	0.83	1.1	0.62
リン（%）	—	2.52	—	3.68	1.75	1.7	1.86	3.71	6.1	2.8
カリウム（%）	0.18	0.25	—	0.11	0.51	0.6	0.57	0.91	0.39	0.40
炭素率（C/N）	12.0	9.2	9.44	9.0	19.6	9.3	16.1	6.3	7.7	13

Ⅲ. 下水汚泥にかかわる規制

1. 下水汚泥にかかわる国内の規制

汚泥を有効利用する場合、肥料取締法では特殊肥料として扱われる。

特殊肥料は、その生産または輸入に際して都道府県知事に届け出ることが必要であり、また含有する可能性のある有害物質について以下のよう
に定められている。

「乾物 1 kgにつき、ひ素 50 mg 以下、カドミウム 5 mg 以下、水銀 2 mg 以下であり、かつ、金属等を含む産業廃棄物に係る判定基準を定める総理府令の別表第 2 の規準に適合するもの」

(上記、金属等を含む産業廃棄物に係る判定基準について以下に示す。)

表Ⅲ-1 金属等を含む産業廃棄物に係る判定基準を定める総理府令(1970)

物質名	濃度基準(検液中mg/l以下)
アルキル水銀化合物	検出されないこと
水銀又はその化合物	0.005
カドミウム又はその化合物	0.3
鉛又はその化合物	3
有機リン化合物	1
六価クロム化合物	1.5
ひ素又はその化合物	1.5
シアノ化合物	1
PCB	0.003

注) 汚泥を純水に入れて振りまぜ、検液中に溶出した金属の濃度を測定したもの

なお、都道府県において、汚泥を農地等に利用する際の指導指針等の策定が進められており、現在、北海道、群馬県、東京都、佐賀県及び大分県で策定(暫定的なものも含む)されている。

実際に下水汚泥を使用する際に、前述の規制及び基準がどのように係わってくるかについて簡単に述べる。まず、コンポスト汚泥として製品化されている下水汚泥については、既に産業廃棄物に係わる判定基準及び肥料取締法に定められている基準に適合していることが確認されているものとしてそのまま取り扱うことができる。また、廃棄処分されてい

る下水汚泥も産業廃棄物に係わる判定基準には適合しているものとして扱うことができるが、これを肥料として利用する場合には、肥料取締法の特種肥料の基準内にあるかどうかの確認及び許可の手続きをとることが必要である。なお、各都道府県に下水汚泥に係わるガイドライン等が定められている場合は、それに定められている事項、基準等を満たすことが必要となる。この他に環境庁によって、汚泥の農用地等への還元に係る指針の設定が考えられており、亜鉛については、土壌中の亜鉛濃度120ppmを限界値として当面の管理基準とすることが通達されている。

(昭和59年11月 8日付け環境庁水質保全局土壌農薬課通達 第149号)
これは、亜鉛が他の有害物質に比べ最も早く許容限界値に達するため重金属による土壌汚染の指標として選ばれたものである。

下水汚泥の使用にあたっては、環境庁より出されている亜鉛等の基準及び以下で述べる諸外国のガイドライン等も考慮に入れ、環境に及ぼす影響への十分な配慮が必要であろう。

2. 諸外国におけるガイドライン

諸外国においても、下水汚泥の農用地等への有効利用は行なわれており、これに伴い施用汚泥の品質・施用方法等について規制がなされている。その基本的な考え方は以下の3点である。

- ・施用される汚泥に含まれるサルモネラ菌、回虫卵等の生物的な汚染を防止する。

- ・窒素・リン等栄養塩類による作物への過剰障害あるいは周辺水域の汚染を防止する。

- ・重金属等有害物質の土壌蓄積による作物の生育阻害あるいは作物に吸収されることを通じて引き起こされる健康への影響を防止する。

(1983, "汚泥の農用地等への還元問題について" より)

生物的な汚染防止のためには、施用後一定期間置く、またはコンポスト化、熱処理、消化処理等を行うように定められている。また、重金属

等有害物質による汚染防止には、汚泥中の濃度規制、汚泥の投入量の規制、土壌中の有害物質の付加量の規制、土壌中の有害物質の濃度規制等が行なわれている。

表Ⅲ-2 諸外国における汚泥土壌中の亜鉛、銅、ニッケルのガイドラインの要点

(単位: mg/kg)

元 素	最大許容付加量(注1)				最大許容濃度
	米国農務省 (注2)	カナダ	英 国 (注3)	オランダ (注4)	西ドイツ
亜 鉛	223	162	250	81	300
銅	112	75	125	20	100
ニッケル	112	16	32	20	50

- 注) 1 許容付加量 (kg/ha) に係るガイドラインに基づいて算出されたものである。
 2 塩基置換容量 (CEC) の値が 5~15 me/100g の場合である。
 3 重金属の付加量は亜鉛当量 ($Zn + 2Cu + 8Ni$) の値が 250 mg/kg を超えてはならない。
 4 2,000 mg/kg の亜鉛、500 mg/kg の銅、50 mg/kg のニッケルを含む汚泥を換物 2 t/ha/年の割合で 50 年間施用した場合を想定している。

(1983. 村崎)²⁰⁾

IV. 下水汚泥の緑地利用

1. 下水汚泥中の成分とその働き

II章で述べたように下水汚泥は処理の方法によりその成分含有量あるいは成分等にも差が見られるが、一般に汚泥を施用した場合の樹木・芝生等の植栽基盤への主な効果として以下のことがあげられる。

- ・ 下水汚泥中の窒素およびリン酸の肥効による植物の生育促進等に対する土の化学性の改善効果
- ・ 土壌の物理性（土壌の団粒化、保水性など）改善及び石灰系脱水汚泥には土壌改良資材としての酸度矯正の効果

1) 下水汚泥による土壌の化学性改善（肥効性）の効果

表IV-1は、下水汚泥の肥料成分を示したものである。表からもわかるように、一般に汚泥は窒素とリン酸に富むことから、その肥料的な効果は十分に考えられるが、カリ分が非常に少ない点に留意する必要がある。また、汚泥のpHは、凝集剤の種類により異なり、消石灰と塩化第二鉄を凝集剤に用いた脱水汚泥（石灰系脱水汚泥）では強アルカリ性であるが、コンポスト化により弱アルカリ性となる。一般に、有機高分子を凝集剤に用いた汚泥では、脱水汚泥、コンポスト化汚泥いずれもpHは弱酸性となる傾向がある。

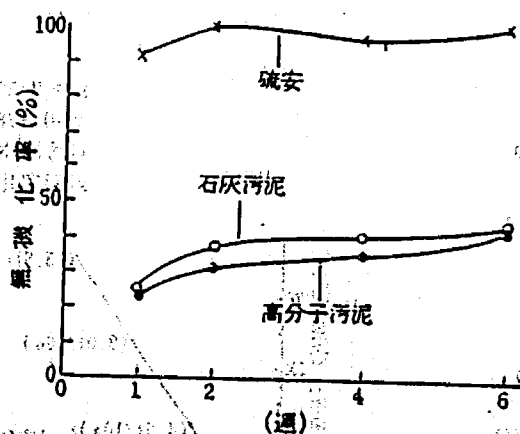
表IV-1 汚泥の肥料成分分析例

試料		項目	pH	全窒素 (乾物%)	リン酸 (乾物%)	カリウム (乾物%)	C/N比	備考
脱水汚泥	凝集剤	消石灰	10.1	2.7	1.1	0.91	7.9	Ca 21.3% 注①
		塩化第二鉄	12.2	3.14	2.43	0.04	7.2	Ca 28.11% 注②
			12.5	2.16	1.03	0.18	-	Ca 27.53% 注③
汚泥	凝集剤	有機高分子	6.1	5.39	4.24	0.45	7.7	注④
堆肥	凝集剤	消石灰	7.8	2.28	3.18	0.04	6.5	Ca 24.61% 注①
		塩化第二鉄	7.3	2.30	3.68	0.11	9.0	Ca 21.3% 注②
			8.0	1.63	2.52	0.25	9.2	Ca 22.4% 注③
汚泥	(凝集剤) + 土壌	有機高分子	6.2	1.24	1.75	0.51	19.6	注④
			6.6	1.90	1.86	0.57	16.1	
		有機高分子	6.8	2.30	2.36	0.20	10.6	注④
			6.6	3.57	1.7	0.60	9.3	注④

注① 1983, 下水汚泥資源利用協議会, 再生と利用 NO.21 P.44 (取手市内の住宅団地下処理場の脱水ケーキ)
 注② 1980, 下水汚泥コンポスト入門 P.143 (日立市池の川処理場)
 注③ 1983, 下水汚泥コンポスト入門 P.102
 注④ 1984, 再生と利用 NO.26 P.102

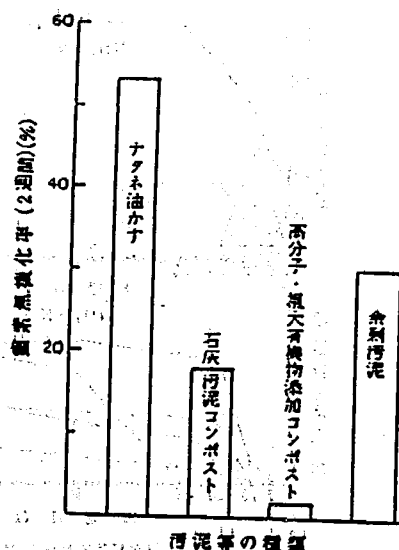
汚泥の有機物は、土壤中の微生物によって無機化され植物に吸収される有効窒素となるが、その際、C/N比（炭素率）が高いと多くの窒素は微生物に取り込まれてしまう。これは、窒素を分解する微生物が窒素と炭素を取り込んで増殖するためで、C/N比が30以上のときは固定が窒素の無機化を上回り、15～30の範囲では窒素固定と無機化はほとんど等しく、C/N比が15より小さいときは無機化が固定を上回ることが知られている。表IV-1のC/N比と図IV-1および図IV-2の窒素の無機化率とを見ると、脱水汚泥および石灰系汚泥コンポストでは、窒素の無機化率は高く窒素の肥効は十分に考えられ、その緩効的な効果も期待できる。一方、粗大有機物（もみがら、樹皮等）混入による高分子系コンポスト化汚泥では、C/N比が高すぎるため、それが十分腐熟するまでは植物は窒素欠乏を引き起こすことが予想される。このため肥料分の不足する植栽基盤に汚泥のみを施用する場合には、十分腐熟させた汚泥を用いることが望ましい。

リン酸は主に土壌のpHによりその溶解度や可給度が増減する。植物に吸収されやすい可給態リン酸はpH6～7で最大となることが知られている。よって、土壌のpHを調整することにより汚泥中のリン酸の有効利用率を高めることもできる。



図IV-1 汚泥中の窒素の無機化率

(1983, 山田・海老原より)



図IV-2 汚泥コンポストの窒素無機化率

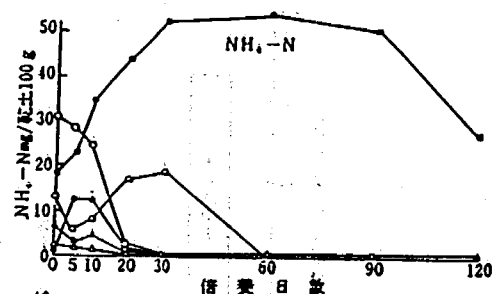
(1983, 茅野より)

2) 土壌の物理性改善の効果

汚泥中の有機物は、一般に使われている堆肥に含まれる有機物と比べると易分解性であるセルロースやタンパク質の比率が高い。このため堆肥に見られるような土壌の物理性改善の効果は、脱水汚泥そのものには少ないと考えられている。一方、粗大有機物（もみがら、樹皮等）混入のコンポスト化汚泥では、パーク堆肥と同様な土壌物理性（特に土壌の団粒化、保水性等）の改良効果が期待できる。

2. 下水汚泥の土壌中での分解

緑地利用に可能な下水汚泥の種類には、脱水汚泥、乾燥汚泥、堆肥化汚泥（汚泥コンポスト）等がある。このうち、脱水汚泥には易分解性有機物も多く含まれ、施用直後は微生物による有機物の急激な分解（発酵）が起こる。このような分解による窒素の無機化は、植物に吸収される有効窒素の増加という結果をもたらす。しかし、汚泥の分解が急速に進んでいる汚泥の土壌混入直後に植栽すると、植物にも悪い影響（地温の上昇、 CO_2 、 NH_3 、 N_2O 等の発生が考えられている。）を及ぼし、極端な場合は枯損に至る恐れがある。



○ 区 (総窒素量として 400mg/乾土100g添加区)
● 区 (総窒素量として 40mg/乾土100g添加区)
△ 区 (総窒素量として 40mg/乾土100g添加区)
▲ 区 (総窒素量として 120mg/乾土100g添加区)
□ 区 (総窒素量として 240mg/乾土100g添加区)
■ 区 (総窒素量として 360mg/乾土100g添加区)

図 IV-3 アンモニア態及び硝酸態窒素生成量の経日変化

$$y = 8.22x - 0.87$$

$$r = 0.978$$

x: 汚泥施用量(t/10a)
y: 安定化日数(日)

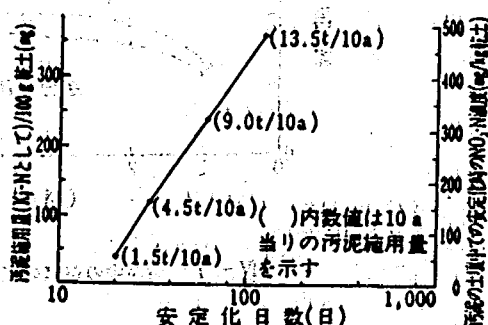


図 IV-4 汚泥施用量と土壌中での安定化日数

図Ⅳ-3は脱水汚泥中の、有機物分解（窒素の無機化）の際に生成するアンモニア態および硝酸態窒素の生成量の経日変化で、図Ⅳ-4は、図Ⅳ-3のデータをもとに分解の安定する日数の目安を示したものである。

ここで、硝酸態窒素が最初のピークに達した時点を汚泥の土壌中での安定化と考えると、汚泥1倍区（総窒素40mg/乾土100g区）は約20日、9倍区は約4か月後に安定化することになる。（1983、岡沢）

窒素の無機化率は、土壌条件、気温等によっても変化するため、脱水汚泥の分解安定に必要な日数を決めることは難しいが、施用汚泥量が多くなる程、汚泥腐熟のための期間を長くとることが必要である。

3. 下水汚泥の緑地利用への有効性

Ⅳ-1では、汚泥中の成分から考えられる一般的な肥料効果を示した。ここでは、実際に汚泥を樹木等の植物に施用した試験事例をあげ、その効果、影響について簡単に示す。

1) 緑化樹木への汚泥施用効果と留意点

緑化樹木への汚泥施用試験の結果顕著であったのは、植物の生育促進効果である。生長度合いは汚泥の施用により高まり、また生育の活発となった根部の働き等により、土壌の物理性（団粒化等）も次第に改善される傾向がある。

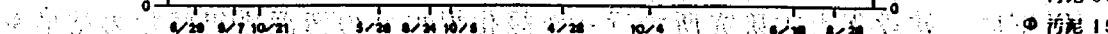
一方、脱水汚泥の多量施用の際は、Ⅳ-2で述べたように汚泥は土壌に混入後分解が急速に進み、その時期の汚泥分解は植物への影響も大きく、施用直後の植栽は避ける必要がある。また、石灰系汚泥を多量に施用する場合土壌のpHが高まることから、施用量、施用地および植栽樹木の種類についても考慮することが望ましいであろう。

以下に、建設省土木研究所で行った緑化樹木への汚泥施用試験の結果を簡単に示し、参考に供す。

(1) 樹木への汚泥施用試験 1

これは、石灰系脱水汚泥を工事残土（軽植土）に混入（植栽3年目にカ

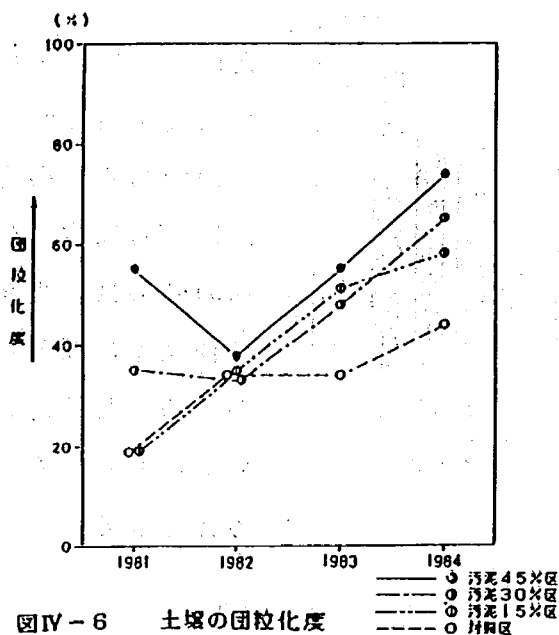
1. Identify the main idea of the passage.
 2. Summarize the passage in your own words.
 3. Identify the author's purpose for writing the passage.
 4. Identify the author's tone or attitude towards the subject.
 5. Identify the author's use of rhetorical devices.
 6. Identify the author's use of evidence to support their claims.
 7. Identify the author's use of language to create a specific effect.
 8. Identify the author's use of structure to organize the passage.
 9. Identify the author's use of style to enhance the passage.
 10. Identify the author's use of figurative language.



図Ⅳ-5 トウカエデの樹高および根元直径の経年変化

1. 2014年10月10日 (1)

《中国数学(奇闻)》、《世界口(大揭秘)》、《数学王国的奇妙旅程》、《数学的奥秘》



図IV-6 土壌の団粒化度

・図IV-6は各試験区の土壌の団粒化度をあらわしたもので、土壌の団粒化度は施用量の多い区で高まる傾向がある。この傾向は施用直後（1981年）と3、4年目に再び見られ、後者は施用の直接的な効果というよりむしろ樹木の生育が施用の多い区でより活発となったことが影響していると考えられる。

・表IV-2は、植栽樹木の枯損木本数である。脱水汚泥を土壤に混入させた後、約2週間で植栽した場合には、施用量の多い区で枯損、枯れ下がり等の障害が目立つが、汚泥混入後1年以上経過して植栽した樹木については汚泥による障害は発生していない。このことから、脱水汚泥を利用する際には十分な汚泥腐熟期間が必要となることが理解できよう。

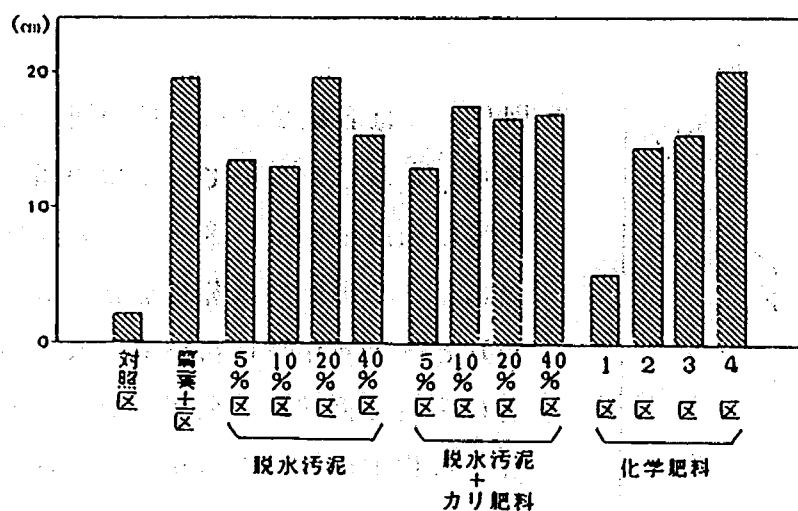
表IV-2 トウカエデ・イチヨウの枯損木本数

		（枯損本数／植栽本数）		
脱水汚泥混入から植栽までの期間		約2週間 （1981年植栽）	約12カ月間 （1982年植栽）	約14カ月間 （1982年植栽）
トウカエデ	対照区	0/16	5/8	2/5
	15%区	0/16	7/8	1/7
	30%区	7/16	6/8	1/5
	45%区	8/16	4/9	0/4
イチヨウ	対照区	1/16	0/8	
	15%区	3/16	0/8	
	30%区	0/16	0/8	
	45%区	1/16	0/8	

注）1982年5月の植栽は各試験区の植栽樹木の約半数を植えかえることとした。

（2）樹木への汚泥施用試験 2 土壌汚泥混入による樹木への影響

有機物に欠ける心土に石灰系脱水汚泥を混入し、イロハモミジを供試材料とし、内径37cm深さ31cmのポット（1ポット1本）を用いたポット試験である。試験区には脱水汚泥区、脱水汚泥＋カリ肥料区、腐葉土区、対照区を設けた。なお、試験は昭和57～59年に行った。



図IV-7 イロハモミジの当年枝の伸長量

・図IV-7は当年枝の伸長量をあらわしたものである。汚泥施用による樹木の生育への効果は、当年枝の伸長量に顕著な差が認められ汚泥の肥効が現われたものと考えられる。

表IV-3 イロハモミジの枯損木本数

試験区		枯損木本数
対照区		1/5
腐葉土区		0/5
脱水汚泥	5%区	0/5
	10%区	0/5
	20%区	1/5
	40%区	4/5
カリ肥料+脱水汚泥	5%区	0/5
	10%区	0/5
	20%区	0/5
	40%区	1/5
化学肥料	1区	0/5
	2区	0/5
	3区	0/5
	4区	0/5

・表IV-3はイロハモミジの試験3年目の夏に発生した枯損本数を示したものである。脱水汚泥40%区で発生した枯損については、1984年夏の過度の乾燥に加え、窒素過剰により植物体が軟弱になっていたことが一因と考えられ、一方カリ肥料を加えた汚泥施用区で枯損木の少ないことは、カリの施肥が窒素過剰の影響を緩和していることが考えられる。従って、多量の汚泥を植物に施用する際には汚泥成分中に不足しているカリ分を追肥することが望ましいであろう。

2) 芝生への汚泥施用効果と留意点

芝生に汚泥を施用した場合、汚泥施用により茎葉部を中心に生育が旺盛となり、裸地の被覆速度も速まる。一方、踏圧および刈込が加わった場合、汚泥を多量に施肥することにより踏圧や損傷に対する耐性の低下がおこる。

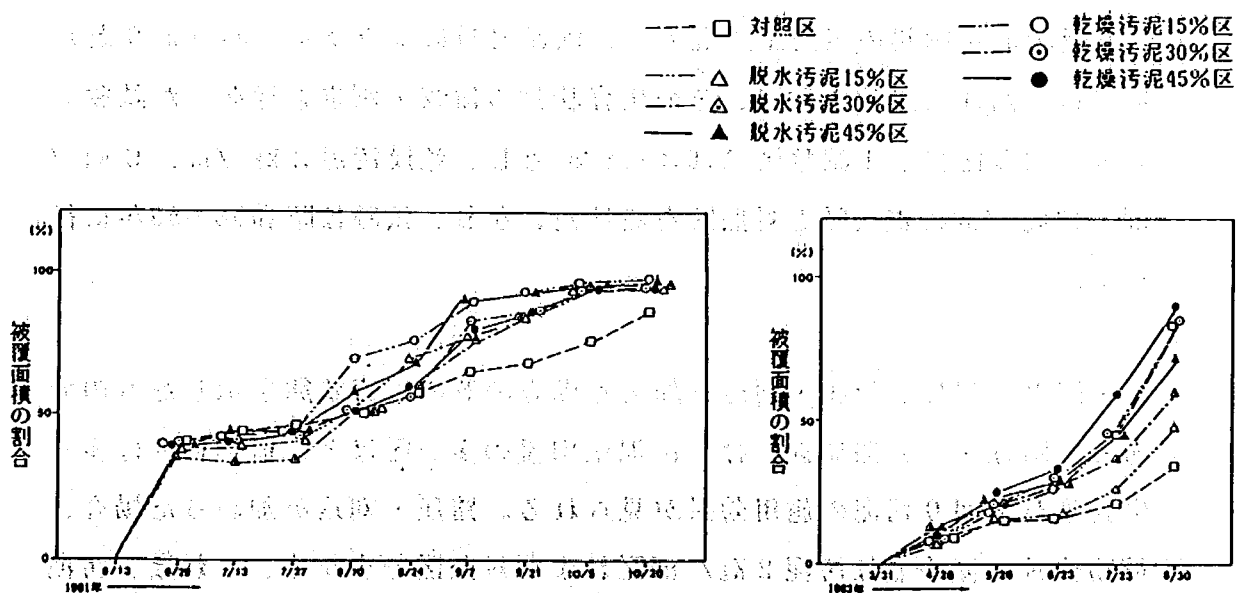
以下に、建設省土木研究所で行った芝生への汚泥施用試験の結果を簡単

に示し参考に供す。

(1) 芝生への汚泥施用試験 1

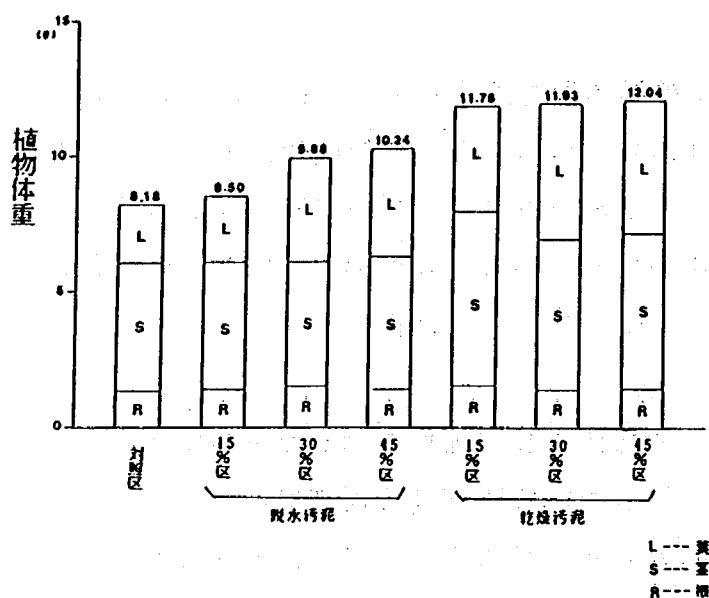
石灰系脱水汚泥および石灰系乾燥汚泥を工事残土（軽植土）に混入し、供試材料にコウライシバ（張り芝）を用い生育状態等の観察・測定を行なった試験である。試験区は、 2×2 m の方形区とし、石灰系脱水汚泥、石灰系乾燥汚泥をそれぞれ体積率で15%、30%、45%の混入区と対照区あわせて4区を設けた。なお、試験は昭和56～58年に行った。

・図IV-8、IV-9は芝による裸地の被覆速度を示したものである。芝の伸長による芝生内に造られた裸地の被覆速度は汚泥施用により速まり、また3年目には汚泥中の窒素あたり施用量の多い区ほど速くなる傾向が見られる。これらのことから汚泥は、芝生への施用効果とともに緩効肥効性を備えていると考えられる。



図IV-8 コウライシバの被覆による裸地面積の変化
汚泥施用1年目

図IV-9 コウライシバの被覆による裸地面積の変化
汚泥施用後3年目



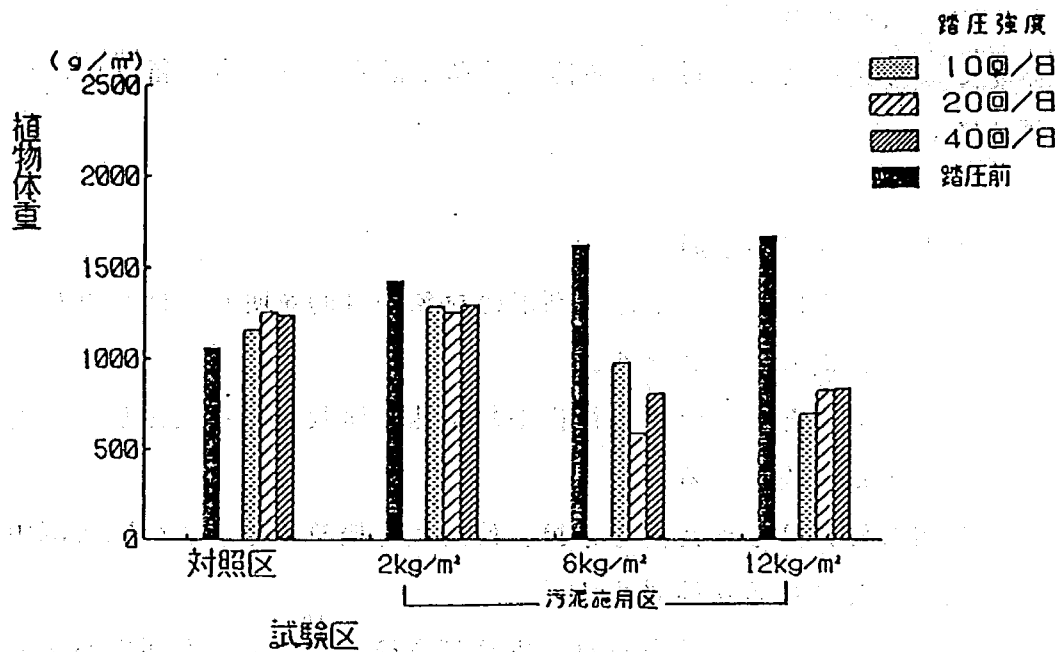
・図IV-10に見られるように、脱水汚泥及び乾燥汚泥の施用により芝の生育、特に茎葉部の生育が促進される。

図IV-10 コウライシバの植物体重

(2) 芝生への汚泥施用試験 2

乾燥汚泥を圃場の表層土に混入し、供試材料にコウライシバ（張り芝）を用い、踏圧・刈込を加え、その生育状態の観察・測定を行なった試験である。試験区は、1試験区 $1.6 \times 1.6 \text{ m}$ とし、乾燥汚泥 2 kg/m^2 、 6 kg/m^2 、 12 kg/m^2 の混入区と対照区を設けた。なお、試験は昭和58～59年に行った。

・図IV-11は、踏圧・刈込を加えた場合の芝の生育状態を示したものである。踏圧・刈込開始前では、汚泥施用量の多い区ほど、植物体重は多く生長量が上回り汚泥の施用効果が見られる。踏圧・刈込が加わった場合、植物体重の減少量は汚泥 2 kg/m^2 区および対照区で少なく、これは、汚泥の多施肥による生育促進の効果が逆に、踏圧・刈込等からの回復の低下をもたらしていると考えられる。



図IV-11 汚泥施用量別 植物体重量 (1983)

以下に、前記汚泥施用試験に用いた汚泥の成分を示す。

表IV-4 試験に使われた汚泥の成分量

項 目	脱水汚泥 (栗松山市)	乾燥汚泥 (栗松市)		備 考
	昭和56年度測定	昭和55年2月22日計量	昭和55年12月5日計量	
含水率	77.5 %	9.3		* 1 静岡県産 廃棄物試験 方法
pH				
乾燥減量	36.8 %			
窒素全量	2.5% ~ 3.2%		2.37%	
カリ全量	0.25%		0.11%	
リン酸全量	2.5 %		2.86%	* 2 底質調査 方法
石灰			16.09%	
シアン	3.05 mg/kg	* 1 N. D mg/kg		
ヒ素	4.95 mg/kg	* 2 0.65 mg/kg	* 4 8.40 ppm	
カドミウム	1.4 mg/kg	* 2 1.50 mg/kg	* 4 2.65 ppm	* 3 廃告13号 に準ずる
鉛	59 mg/kg	* 2 38.0 mg/kg	* 4 47.2 ppm	
6価クロム	315 mg/kg	* 2 N. D mg/kg		
総水銀	0.9(7A+A水銀H.O)	* 2 1.4 mg/kg	* 4 1.43 ppm	
鉄	34980(7A+A水銀H.O)	* 2 28000 mg/kg		* 4 乾物換算値
銅	777 mg/kg	* 2 320 mg/kg	* 4 5.04 ppm	
亜鉛	1717 mg/kg	* 2 3000 mg/kg	* 4 0.28%	
マンガン	542 mg/kg	* 2 417 mg/kg		
ニッケル	117 mg/kg	* 2 110 mg/kg		
PCB	N. D			
有機塩素		* 3 N. D mg/kg		

V. 下水汚泥利用の方法

本章では汚泥を実際に利用する際の手順や計画のたて方、留意点について述べる。

1. 下水汚泥利用の手順

汚泥を利用するにあたっては、利用の対象や目的を明らかにし概ね次のようなフローに従っておこなう。

- ① 利用の対象となる土壌の性格や対象地の植栽計画を検討し、汚泥使用の方法を決定する。
- ② 使用方法に適した汚泥を選択、使用量を概算する。この際汚泥中の成分、作業性等を検討する。
- ③ 汚泥の入手の可能性を検討、成分等を検討し、必要な汚泥が入手困難な場合は使用方法や使用汚泥の種類を再検討する。

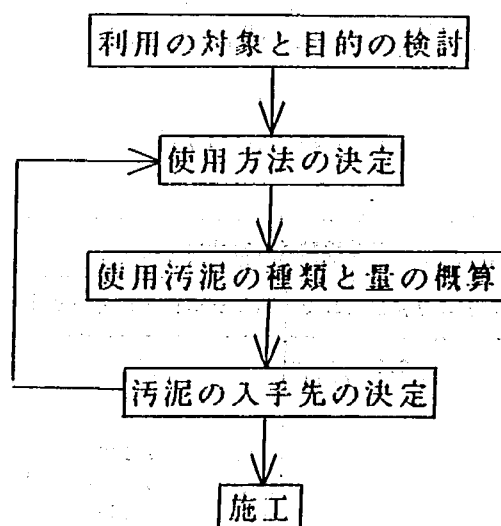


図 V - 1 汚泥利用のフロー

2. 下水汚泥利用の目的と対象

1) 目的

下水汚泥の利用は、植物の生育基盤の維持・保全あるいは改善を目的とするが、これはさらに以下の2つに分類される。

- ・ 植栽対象地の生育基盤の改良（造成、植栽時）
- ・ 植栽後の維持・管理

前者は痩悪な土地を生育基盤として整えるもので土壌改良的な利用といえ、後者は地力の維持、保全をするもので、肥料的な利用といえる。

2) 対象土壌

汚泥利用の対象となる土壌は様々であり、特に生育基盤の改良を目的とする場合は種々の痩悪土壌があげられる。これは汚泥中の肥料成分や（石灰系汚泥の場合）石灰成分の働きによるところが大きい。

表V-1は植栽対象地土壌の生育阻害要因と汚泥利用の可能性をまとめたものである。汚泥は肥料分の不足や土壌のpHの調節に対しては直接現地の土壌に混入することで、十分な改良効果を示す場合が多い。また有効土壌の不足や過湿等に対しても、砕土や耕起等あるいは盛土や排水工などの他の工法と併用することで、高い利用価値を持つ。

表V-1 植物の生育に不適な土壌環境と汚泥の利用

土壌環境	改良の基本方針	汚泥の利用
有効土層不足 （高硬度）	・ 基盤となる土壌の砕土、耕起	耕起後、汚泥を敷きならし、混入 盛土に汚泥を混入
過湿	・ 排水工を行ない必要に応じて盛土を行う	盛土に汚泥を混入
過乾	・ 土壌の保水性の改善は、有効土層不足と同様に耕起・盛土等を行う	汚泥を敷きならし、混入 耕起後、汚泥を敷きならし、混入 盛土に汚泥を混入
酸性土壌の矯正	・ 酸性土壌には石灰等の中和剤の混入、非排水工による盛土を行う	無機系汚泥を石灰の代わりに混入 盛土に石灰系汚泥を混入
肥力度不足	・ 肥料成分の補給	汚泥を敷きならし、混入
有害物質過多（塩素イオン、ガス、その他）	・ 有害物質の除去や処理と盛土を行う	盛土に汚泥を混入

3. 下水汚泥の使用対象緑地・使用汚泥と工法

汚泥の使用工法は緑地においては以下の4種類が主なものと考えられる。

- ・全面混入・全面盛土
- ・植穴客土
- ・スポット施用
- ・地表散布

(1) 全面混入

- ・緑地の造成時に、農業機械等を使用し表面に汚泥を散布、混入する方法で、表土の失われた土地において、大規模な植栽基盤の造成を行うことが可能である。
- ・施用対象緑地としては、都市公園や緑地帯、ゴルフ場等が考えられる。
- ・施用汚泥は脱水ケーキ、乾燥汚泥、コンポスト汚泥などほとんどすべての種類が可能である。しかし、乾燥汚泥とコンポスト汚泥は現状では発生量が少ないことなどにより必要量を安定的に確保することが困難であり、大面積の造成に際しては安定した供給の確保が必要とされる。

(2) 全面盛土

- ・緑地の造成時に汚泥の混入土を全面的に盛土する方法で、前述の全面混入と同様に大規模の面積での植栽基盤の造成を行うことができる。特に全面混入では有効土層が十分に確保できない場合には、この方法が有効である。
- ・適用対象、使用汚泥については全面混入と同様である。

(3) 植穴客土

- ・造成後、樹木の植栽時に行う客土で、土壌が劣悪であることが予想される埋立地等では、土壌改良剤や肥料を混入して客土することが行なわれる。

- ・対象緑地としては、都市公園や工場緑化地、街路樹植栽地等が含まれる。
- ・脱水汚泥を土壤に混入した直後に植栽すると、脱水汚泥の急激な発酵により根茎を損傷する恐れがある。このため客土前に十分に発酵させるか、または客土後に十分時間をおくことにより施用が可能となる。

(4) スポット施用

- ・植栽後、樹木や草本に対する基肥や追肥として養分を補給するために行う。
- ・施用対象地は都市公園や緑地帯、街路樹植栽地など、ほとんどすべての緑地にわたる。
- ・発酵および作業性や臭気の問題から、コンポスト汚泥、乾燥汚泥が適しており、脱水汚泥はやや不適であるが、事前に乾燥や発酵を行えば利用可能である。

(5) 地表散布

- ・緑地の造成、植栽後、樹木や芝生に対する基肥や追肥として養分を補給するために行う。
- ・異臭や不快感等の問題が予想されるため利用は限定され、人の入らない緑地帯や非供用時の都市公園などが対象とされる。
- ・発酵および作業性や臭気の問題から脱水汚泥はやや不適であるが、事前に乾燥や発酵を行えば利用可能である。

以上をまとめると表V-2のようである。

図1
図2
図3
図4
図5
図6
図7
図8
図9
図10
図11
図12
図13
図14
図15
図16
図17
図18
図19
図20
図21
図22
図23
図24
図25
図26
図27
図28
図29
図30
図31
図32
図33
図34
図35
図36
図37
図38
図39
図40
図41
図42
図43
図44
図45
図46
図47
図48
図49
図50
図51
図52
図53
図54
図55
図56
図57
図58
図59
図60
図61
図62
図63
図64
図65
図66
図67
図68
図69
図70
図71
図72
図73
図74
図75
図76
図77
図78
図79
図80
図81
図82
図83
図84
図85
図86
図87
図88
図89
図90
図91
図92
図93
図94
図95
図96
図97
図98
図99
図100

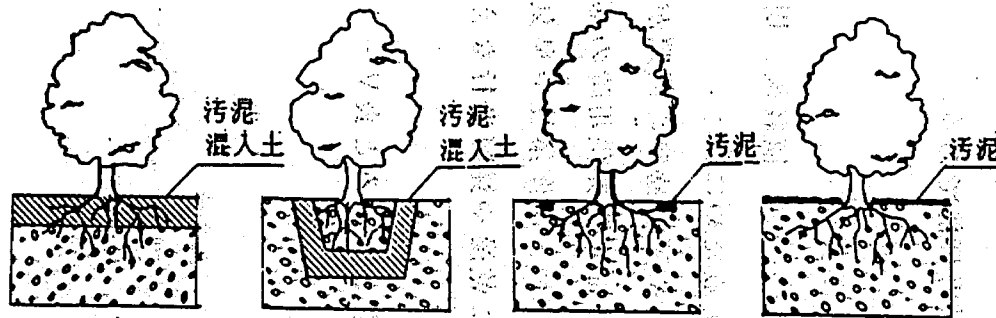
図1	図2	図3	図4	図5	図6	図7	図8	図9	図10	図11	図12	図13	図14	図15	図16	図17	図18	図19	図20	図21	図22	図23	図24	図25	図26	図27	図28	図29	図30	図31	図32	図33	図34	図35	図36	図37	図38	図39	図40	図41	図42	図43	図44	図45	図46	図47	図48	図49	図50	図51	図52	図53	図54	図55	図56	図57	図58	図59	図60	図61	図62	図63	図64	図65	図66	図67	図68	図69	図70	図71	図72	図73	図74	図75	図76	図77	図78	図79	図80	図81	図82	図83	図84	図85	図86	図87	図88	図89	図90	図91	図92	図93	図94	図95	図96	図97	図98	図99	図100
----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------

表Ⅶ-2 汚泥施用の方法と汚泥の種類

汚泥施用の目的	施用時期	方 式	適用対象			汚泥の種類		
			大面積の緑地 都市公園 工場緑地	带状の緑地 緩街緑地 防風林	点状の緑地 街路樹 小公園	脱水汚泥	乾燥汚泥	汚泥コンポスト
緑地の造成	基盤造成時	全面混入・全面盛土	○	○	×	○	△1)	△1)
	植栽時	植穴客土	○	○	○	△2)	△5)	○
		スポット施用(元肥)	○	○	○	△2)4)	○	○
		地表散布	○	○	○	△2)4)	○	○
緑地の維持・管理	植栽後	スポット施用	○	○	○	△2)4)	○	○
		地表散布	○	○	○	△2)3)4)	△	△3)

- 1) コストが高くなる
 2) 事前に発酵・乾燥が必要
 3) 臭気等の不快感がある
 4) 作業性が悪い
 5) 事前に発酵が必要

○ 適正
 △ 場合により可
 × 不適



全面混入
全面盛土

植穴客土

スポット施用

地表散布

4. 使用汚泥の種類を検討

1) 下水汚泥の種類

現在、緑地への利用が行なわれている、あるいは利用が一般的に可能である下水汚泥は、処理法および凝集剤により以下のように分類される。

- 処理方法による分類
- ・脱水汚泥
 - ・乾燥汚泥
 - ・コンポスト汚泥

これらの種類別の発生量は1章の表1-1にもみられるように脱水汚泥が全体の70%を占める。

- 脱水のための汚泥調質剤による分類
- ・無機系：主に消石灰と塩化第二鉄を使用
 - ・有機系：高分子系凝集剤を使用

2) 下水汚泥の特性と利用上の留意点

(1) 汚泥の成分

①肥効成分

- ・汚泥中の肥効成分の主なものは窒素、およびリン酸である。またマグネシウム、鉄といったミネラル分も豊富である。これらの成分量は季節や処理場によって異なるため、年間を通じた資料を入手することが望ましい。

②重金属

- ・重金属含有量については、年間を通じた資料を入手することが望ましい。
- ・工場廃水の多く流入する処理場では重金属含有量が高い場合があり、緑地利用には留意を要する。

③石灰含有量とpH

- ・石灰を用いた脱水汚泥では酸性土のpH調節の役割が期待できる。しかし微酸性～中性の土壌に対して使用する場合にはpH値が高まり土壌がアルカリ化されるため、大量使用はさける必要がある。

- ・高分子系の凝集剤を用いた汚泥は生成直後はpH 6～8の値をとり、一次発酵が終わった状態ではpH 6～7の微酸性～中性となる。しかし大量に施用した場合には汚泥中に含有される硫酸および硝酸態Nにより塩基が溶脱し土壤が酸性化する可能性があるので注意が必要である。微酸性から中性の土壤では有機系の利用が適正である。酸性の強い土壤には石灰系を使用する。

表V-3 土壤pHと施用汚泥

pH (H ₂ O)	土壤の分類		汚泥の種類
<4.4 4.5～4.9 5.0～5.4	ごく強酸性 強酸性	腐酸性土 泥炭	石灰系凝集剤に 使用した汚泥
5.5～5.9 6.0～6.5	弱酸性 微酸性	畑地、水田土壌 都市土壌	石灰系の大量 施用は不適
6.6～7.2 7.3～7.5 7.6～7.9 >8.0	中性 微アルカリ 弱アルカリ 強アルカリ	都市土壌 コンクリートの 影響地帯	有機系の汚泥

(2) 作業性

- ・汚泥を利用する場合の作業性の良否は処理の状態によって異なる。脱水ケーキは水分70～80%で粘性の高い粘土状でありそのままでは極めて作業性に劣る。乾燥汚泥はベレット状で作業性は良い。コンポスト汚泥は含水率20～50%でバラバラとした土のようで作業性は良い。

(3) 臭気

- ・臭気は汚泥が急速な発酵（一次発酵）をするときに強い。乾燥汚泥、コンポスト汚泥ではほとんどない。脱水汚泥の臭気の程度は処理方法等によって異なり消化過程を経ていない脱水汚泥では強い場合がある。

(4) 発酵

- ・コンポスト汚泥には一次発酵のみ終了したものと二次発酵まで終了したものがある。前者では状況に応じ植栽前に野積み等により発酵を進める必要がある。

表Ⅶ - 4 汚泥の種類と利用上の性質

	形 状	含水率	保存性	流通形態	臭気	発生量	作業性	発酵期間等
脱水汚泥 (脱水ケーキ)	粘土状	約75%	低い	重量(t)	ややある 強い	多い	乱塊状に残りやすい 粘着性が高く作業性に劣る	未発酵のため長期の発酵期間を設ける必要がある
乾燥汚泥	粒状	約5～15%	やや高い	袋詰め	ほとんど ない	少ない	バラバラとしていて 利用しやすい	発酵期間を置くほうが良い
堆肥化汚泥	バラバラした土のよう な状態	約20～25%	やや高い	袋詰め・ 重量(t)	ほとんど ない	少ない	作業性は良い	二次発酵を終了しているものは すぐに利用が可能である 一次発酵のみ終了した製品は 堆積発酵の必要あり

5. 下水汚泥使用量のめやす

汚泥の使用量を決定するには2通りの考え方がある。1つは汚泥を肥料として考え、必要な窒素成分やリン酸成分の量に相当する汚泥を使用するという考え方である。もう1つは土壌中の有機物を増加させる目的で混入し、長期にわたる効果を望む考え方である。前者を肥料的な利用、後者を土壌改良的な利用と呼ぶことにする。いずれの場合においても、混入する汚泥中の重金属等の成分量、および、アルカリ分と土壌pHについては、事前にチェックをし、過剰な使用を避ける必要がある。

1) 肥料的な利用

肥料的な利用に対しては、一般にコンポスト汚泥や乾燥汚泥がその作業性の良さから利用される。しかし脱水汚泥も元肥的な利用は可能である。

汚泥中の肥料成分としては窒素とリン酸があげられる。汚泥中の全窒素量として知られている値のうち、実際に分解しやすく、有効に働く成分は30～40%程度であることが多く（p11 図IV-1参照）、ここでは全窒素に30%をかけて有効窒素量と考えることとする。次表は全窒素（乾物中）

2.5%、含水率80%の脱水汚泥および全窒素（乾物中）2.0%、含水率30%のコンポスト汚泥を緑化工の対象地に元肥として施した場合の目安を化学肥料の施肥量から算出したものである。この値は元肥としての施肥量であり、この他に追肥として定期的な使用が必要となる。

計算式は以下のようなものである。

$$\begin{aligned}
 & x : \text{汚泥中の有効窒素量 (kg/kg)} & X : \text{窒素施肥量 (kg/10a)} \\
 & y : \text{汚泥重量 (kg)} & Y : \text{汚泥使用量 (kg/10a)} \\
 & a : \text{含水率 (\%)} \\
 & b : \text{汚泥中 (乾物) の全窒素 (\%)} \\
 & c : \text{窒素有効率 (\%)} \\
 & Y = \frac{X}{x} \\
 & x = y \times \frac{(100 - a)}{100} \times \frac{b}{100} \times \frac{c}{100}
 \end{aligned}$$

なおカリ成分については汚泥中の含有量が少ないため、化学肥料等で適量を補充する必要がある。

表Ⅶ-5 窒素成分から算定した汚泥使用量の目安
(緑化工対象地の元肥として)

対象土壌	N施肥量*)	脱水汚泥使用量**)	コンポスト汚泥使用量***)
普通土 粘土 粘り土 粘土質 岩	7.2kg/10a	4.8t/10a	1.7t/10a
火山灰土 風化軟岩	10.8	7.2	2.6
砂質土 マサ土 シラス土	14.4	9.6	3.4

*) 寺崎：1971

**) 含水率80%

N成分 2.5% (乾物中)

有効窒素は約30%とする

***) 含水率30%

N成分 2.0% (乾物中)

有効窒素は約30%とする

2) 土壌改良的な利用

土壌改良的な利用は主に植栽基盤の造成時に行なわれ、全面的に汚泥を混入する方法がとられる。このような場合は脱水汚泥が経済性や入手の容易さから適当と考えられる。

脱水汚泥の施用量は多いほど残効性が高いが、発酵に長期間を要する、窒素が過剰になり植物体が軟弱になりやすい等の問題がみられる。実際に混入量を決定するにあたってはこの長所、短所を考慮し、必要量を算定することが望まれる。IV章に述べられた実験事例では含水率約80%、乾物中の窒素量約2.5%の汚泥を体積比で5%から45%まで混入しているが30%以上の混入量では発酵障害や窒素過剰の可能性が高く、5%以下では残効性が低い傾向がみられる。

次に示すのは使用量をおよそ体積比で5～20%とし単位面積当たりの必要量を示したものである。このとき混入された汚泥1m³の重量（切り返し後）は0.6tと仮定した。また（）内に示されたのは汚泥の水分を80%、窒素を2.5%（乾物中）、有効窒素を全窒素に対して30%としたときの窒素成分量である。

カリ肥料については肥料的な利用の場合と同様に補充する必要がある。

表V-6 汚泥使用量の計算例

	混入厚	混入割合（体積%）		
		5%	10%	20%
使用汚泥量 (t/10a) (有効窒素量 (kg/10a))	10cm	3 (4.5)	6 (9.0)	12 (18.0)
	20cm	6 (9.0)	12 (18.0)	24 (36.0)
	30cm	9 (13.5)	18 (27.0)	36 (54.0)

汚泥の体積当たり仮比重：0.6%（切り返し等の作業後）

含水率：80%

窒素：2.5%（乾物中）

有効窒素は全窒素の30%とした場合

3) 使用量決定における留意事項

(1) 重金属からの使用量の限界

汚泥施用に関する規制についてはⅢ章で述べたが、我国における規制では汚泥の土壌に対する使用の総量は土壌中の亜鉛濃度（p. 9 参照）以外では問題とされていない。そこで一例として英国における農用地を対象とした亜鉛、銅、ニッケルの使用総量を参考に、使用量の上限のめやすを考えると表V-7のようになり、この計算事例ではおよそ 130t/ha（乾物）が30年間の合計した上限となる。

鉛・銅・ニッケル以外の金属についても、諸外国における規制を参考に、上限の目安をたてる必要がある。英国の規制ではこの他にクロム、カドミウム、鉛、水銀、モリブデン、ヒ素、セレンが規制の対象となっている。

表V-7 英国における汚泥施用量の上限（亜鉛当量の上限）からの計算例

規制内容	汚泥中の成分量の例	汚泥（乾物）施用の上限
亜鉛当量（ $Zn + 2Cu + 8Ni$ ）の施用量が 560kg/ha を 30年間で越えないこと	$Zn: 1700mg/kg$ $Cu: 800mg/kg$ $Ni: 100mg/kg$ $1700 \times 800 \times 2 \div 800 \times 8 = 4100$ 亜鉛当量 = 4100mg/kg	$136t/ha = 13.6t/10a$ を30年間で越えないこと

(2) アルカリ分と土壌pH

石灰を凝集剤とした汚泥は土壌のpH値を高くする傾向がある。無機系汚泥中のアルカリ分*）は汚泥中に含まれるCaとMgの量に依存しその変動範囲は広いが高いもので約30%、低いもので約3%程度と考えられる。

*）アルカリ分：

肥料中に含まれる可溶性石灰（0.5 Mの塩酸液にとける石灰をいう）の量または可溶性石灰と可溶性苦土の酸化カルシウムに換算された量の合計量をいい、石灰肥料の土壌矯正力を示すものである。

一般に石灰肥料として使われる炭酸カルシウムではアルカリ分が53%とされており、石灰系の汚泥は場合によってはかなり高いpH調整効果を持つものと考えられる。

土壌のpH値を1単位だけ上昇させるアルカリ分の量は、土壌の性質により異なるものであるが、土性と腐植含量により、概ね次表のような値を想定することができる。

表.V-8 10a、深さ10cmの土壌のpHを1単位だけ中性の方へ変化させるに要する炭カル量 (kg/10a)

土 性	腐 植 含 量			
	乏しい (5%>)	富む (5-10%)	すこぶる富む (10-20%)	腐植土 (20%以上)
砂土	56	113	150-225	450-750
砂壌土	113	169	225-300	
壤土	169	225	300-375	
埴壌土	225	281	375-450	
腐植土	281	338	450-525	

注) 消石灰、炭酸苦土を用いる場合は、上記の数字のそれぞれ0.74掛、0.84掛とする。(塘 隆男 1979)

炭酸カルシウムの必要量を汚泥の必要量に換算するには、以下のような計算を行う。

X : 炭酸カルシウム必要量

Y : 汚泥必要量

y : 汚泥中のアルカリ分 (%)

$$Y = \frac{X \times 53}{y} \quad (\text{炭酸カルシウムのアルカリ分}\%)$$

(Xは汚泥中のアルカリ分を1%と仮定して計算)

汚泥中のアルカリ分は、汚泥中の炭素分の10%と仮定して計算する。炭素分の10%は、炭素分の10%と仮定して計算する。炭素分の10%は、炭素分の10%と仮定して計算する。

表V-8中の値は炭酸カルシウム量であるが、これをアルカリ分20%の汚泥の乾物量に換算すると表V-9のようになる。ここで腐植に乏しい壤土の例をとると448 kg/10a（乾物）でpHが1上昇する。

汚泥の施用にあたっては、上述の値を目安に使用の適量および上限を決め、土壌のアルカリ化を避ける必要がある。

表V-9 10a、深さ10cmの土壌のpHを1単位だけ中性の方へ変化させるに要する脱水汚泥（乾物）（kg/10a）

土 性	腐 植 含 量			
	乏しい (5%>)	富む (5-10%)	すこぶる富む (10-20%)	腐植土 (20%以上)
砂 土	148	299	398-596	
砂 壤 土	299	448	596-795	
壤 土	448	596	795-994	
腐 植 土	596	744	994-1193	
腐 植 土	744	896	1193-1391	
腐 植 土				1193-1983

注) アルカリ分20%とした場合

6. 下水汚泥の入手

下水汚泥の入手にあたってはまずその地方の下水道担当部局に問い合わせ、当該地方の各下水道処理施設の発生活泥量・成分・性質等の資料を得ることが必要である。このとき留意すべき点は以下のようである。

- ・一般に工場地帯を集水域として持つ施設からの発生活泥は、重金属濃度が高いので注意が必要である。
- ・汚泥の成分や発生量は季節的な変動があるので、必要量が期間内に得られることを確認する。
- ・可能な範囲で施用対象地から近い処理施設を選ぶ。これは運搬コストを低減する意味である。
- ・コンポスト汚泥および乾燥汚泥については生産している処理場が少ないので、遠方から入手する必要もあり得る。（コンポスト汚泥の生産自治体については資料-1を参照）
- ・現在の汚泥の処理については様々な技術的な新しい方法が実用化されている。その結果、臭気や粘着性という点からの発生活泥の性状は処

理プラントによって著しく異なることも多い。これらの性質は単に数値や文章ではわかりにくいことも多いので、早期に現地で確認することが望ましい。

7. 下水汚泥の土壌との混合と発酵

下水汚泥、なかでも脱水ケーキのような未発酵の汚泥や、含水率が高く(70%~80%)作業性の悪い汚泥を公共緑化に利用するにあたっては、他の土壌改良剤や、堆肥等の有機資材と異なり、土壌との混合や植栽前の発酵に配慮が必要となる。そのための留意点を以下にまとめる。

1) 下水汚泥の発酵

脱水汚泥等の未発酵の汚泥は土壌と混合したり、敷き均したりして空気と触れ合うことにより、急速に発酵が進む。この時点では植栽は不適な条件であり、植栽木が枯損したり、異臭がするなどの問題が生ずる。そこで、汚泥の発酵を進め、急激な発酵の終了した、つまり安定化した状態において植栽することが必要となる。一般にコンポスト汚泥といわれるものは、このような安定化の過程を汚泥の処理過程に含めたものであり、処理場内の堆肥化施設で発酵が行なわれる。

脱水汚泥をコンポスト汚泥のような安定した状態に変化させるには、好氣的な反応が進むように切り返しが必要となる。具体的な方法としては、現在までの大面積の施工事例では事前に土壌と混合し、堆積する方法がとられている。

土壌と混合後の汚泥の発酵時間については、土壌の性質や水分、通気、切り返し回数等によって異なるものと考えられ、個々の事例において、試験測定を行うことが望ましい。また凡その目安としてIV章に引用された

(p. 13) 汚泥施用量と安定化日数の図等を参考に、混入量に応じて発酵期間を推定することができる。例えば1.5t/aの使用で20日、13.5t/aの使用で120日の発酵期間が必要である。現地においては、アンモニア臭等の異臭がないことが一次発酵の終了時点として、1つの指標とされる。

この他に植物への直接的な影響を知る方法として発芽試験が考えられる。

これは土壌をポットに採取し、標準土壌と比較することで、この際の基準は、現在のところ未定である。しかしコンポストの品質の判定基準としては土壌と重量比で10:3で混合し、標準土と比較して8割の発芽を良とする（文献-11）ことから、汚泥混合土の場合も8割の発芽を目安とすることができよう。

2) 土壌との混合

下水汚泥と土壌の混合は、発酵の前に行う場合と発酵後に行う場合があるが、いずれの場合においても十分に土壌と混合することが養分の偏りを防ぐ意味で重要である。また、未発酵の汚泥の場合は混合が不完全であると発酵に長時間を要するという問題がある。

混合方法は汚泥の含水率や施工面積等によって異なると考えられ、個々の事例において、適切な方法を考えてゆくことが必要であるが、脱水汚泥における施工事例から次のことがいえる。

混合が比較的困難と考えられるのは粘着性の高い脱水汚泥を大面積で全面に混入する場合で、豊橋市における施工事例ではマニヤスプレーター、およびローターベーターが使用された。混合の均一性という点と有効土層の確保という点からは、このような堆肥の散布機および、深耕性の土壌耕転機が利用することが望ましい。

比較的簡易な混合方法としては、ブルドーザーにより敷き均し、同時に混合する方法が考えられるが、この場合は混合の不均一が目立つことは否めない。

脱水汚泥を堆肥化施設等によって発酵させた後に混合する場合には、水分の低下が期待されるため作業性は良くなる。しかしこの場合も均一な散布と混合という点からは前述のような農業機械の使用が最適である。

3) 施工事例

(1) 事例1 豊橋市（東三河臨海埋立地）

（水分70%の脱水ケーキを重量で4%、1.92t/a程度混入）

①トラックで造成用土を搬入し厚さ30cmにブルドーザーで敷きならす。

②トラックで搬入された脱水ケーキを、ショベルカーでマニヤスプレーターに積み込み、敷きならされている用土の上に自走、飛散、均等散布する。

③そのあとをロータリーベーターで攪はん混合する。

以上をくり返し、所定の高さ（平均盛土厚1.5m）まで造成する。

（留意点：多層に汚泥が積み上げられるため、土壌内で汚泥が発酵し障害の恐れがある。発酵期間、排水、使用汚泥の種類の検討が課題である）

（2）事例2 名神八日市カントリークラブ（滋賀県）

（脱水ケーキを2.3t/aで混入）

①生ケーキを搬入後、ブルドーザーで均らし散布され同時に混合した。

（留意点：混入が不均一なため芝の色むらがみられた。）

（3）事例3 鳴尾ゴルフクラブ（兵庫県）

①張芝の前に、土の上に生汚泥を厚さ10mmに敷きつめ、その後、カルチベーターによって150mmの深さに土と混合した。

（留意点：敷き並べた直後に土と混合するよりも、7～10日間放置し、乾燥状態になってから土と混合した場合の方が、芝の活着および、その後の生育が良かった。）

8. 施工

V-3で汚泥の施用方法としてあげた全面混入、全面盛土、植穴客土、スポット施用、地表散布について施工にあたっての留意点、手順等を述べる。

1) 全面混入

①適用範囲 汚泥の施用は、盛土、切土、砂土地等で土壌の栄養分が不足している場合。

- ・基盤土壌中にも中高木の根系が侵入できることが必要である。このためには基盤土の通気性、保水性、硬度等が著しく不良な場合にはこの方法は不適當である。

②作業手順

敷きならし → (乾燥) → 混合 → (発酵) → 植栽

- ・乾燥は水分が多い脱水汚泥の場合には、作業性を良くし、発酵を促進する意味で重要である。
- ・発酵の十分に進んだ汚泥は、混合後すぐに植栽することが可能である。

③方法

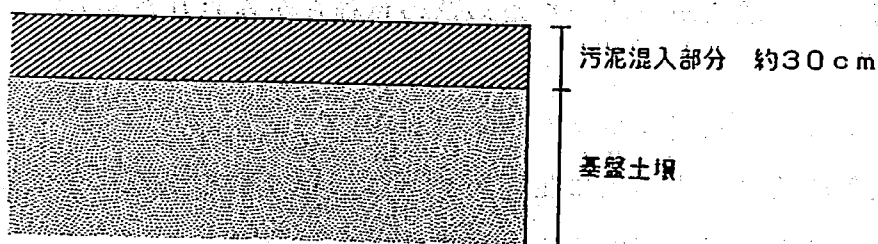


図 V-2 全面混入-断面図

- ・表面排水勾配を2～3%程度とる。
- ・汚泥を搬入後、敷きならし、水分の多いものは放置して天日乾燥する。
- ・その後ロータリーベクター等の深耕機で十分に混合する。
- ・汚泥の敷きならしにはマニヤスプレーター等の農業機械が適している。ブルドーザー等も利用することが可能であるが均一に敷きならすことは難しい。
- ・汚泥の混入厚は機械の種類によって異なるがおよそ20cmから30cmである。この混入部分が植物の根茎のうちおもに栄養の吸収にたづさわ

ている細根の分布域となり、その下部の基盤土の部分が植物を支持する支持根の分布域となることが想定される。

2) 全面盛土

①適用範囲

- ・切取面等で硬い基盤が露出している場合、強酸性土等の不良土壌が露出している場合等の有効土層が不足している場合。
- ・混合土壌は下層土、工事残土等の有機物に欠ける土壌を利用することができる。

②作業手順

作業手順は以下のような3とおりがある。各々の長所短所を考慮して適当な方法を選択する必要がある。

A：土壌との混合→発酵→盛土→植栽

B：発酵→土壌との混合→盛土→植栽

C：盛土工（工事残土等）→敷きならし→混合→発酵→植栽

- ・ A：汚泥の発酵は空気と触れ合うことで促進するため、土壌と混合し、切り返すことで発酵時間を短くすることができる。この場合は、汚泥混合土を堆積発酵するための場所が必要となる。
- ・ B：あらかじめ処理場等で発酵の終了した汚泥（コンポスト汚泥）を使用する場合には土壌混合後すぐに盛土を行なうことができる。脱水汚泥を現場近くで発酵させる場合には、切り返しや天日乾燥などを行い、十分に発酵をすすめる。
- ・ C：盛土工に前述の全面混入を組み合わせた方式で、盛土工の後に汚泥を敷きならし、混入する。汚泥混入厚は約30cm迄となるが、直接現場で発酵させるため、発酵のための場所および施設を必要としない。

③方法

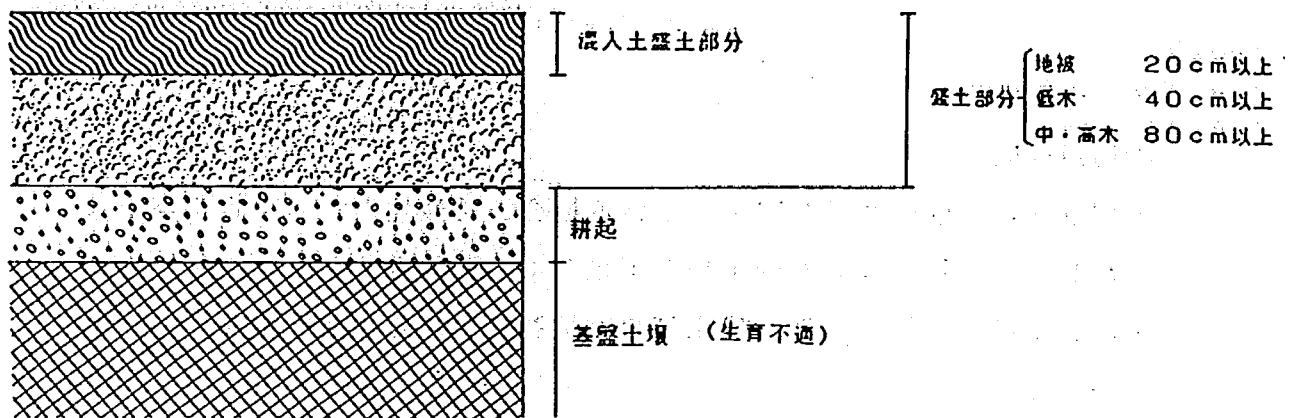


図. V-3 全面盛土 (A, B) - 断面図

A, B :

- ・下層土を耕起した後、盛土を行ないさらに汚泥混入土を置き、ブルドーザーで敷きならすか、農業用トラクターまたは人力で整地する。ブルドーザーによる場合は締め固めすぎないように留意する。
- ・表面排水勾配を2～3%程度とる。
- ・汚泥の混入厚は植物の種類やその他の条件に応じて決定する。

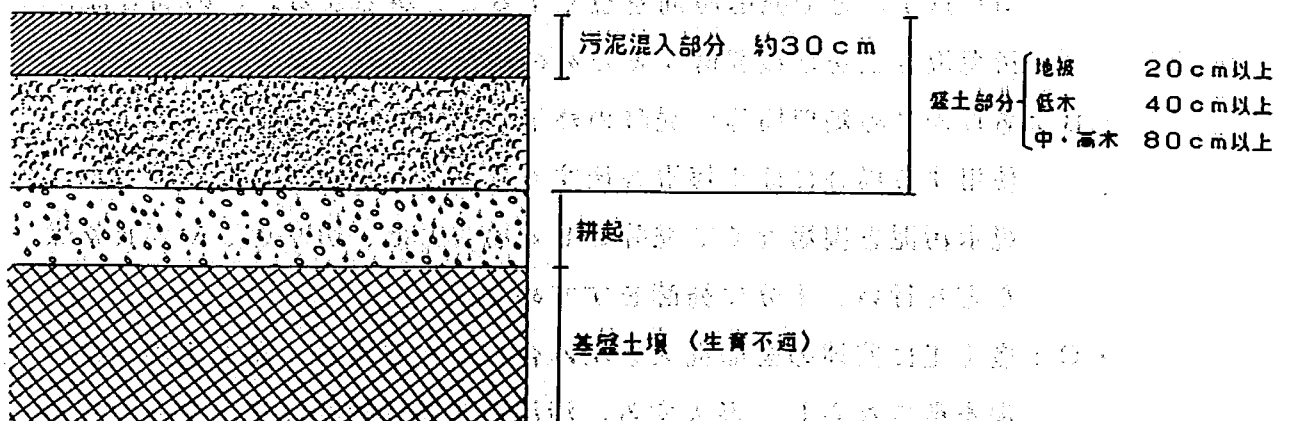


図. V-4 全面盛土 (C) - 断面図

C :

- ・下層土を耕起した後、盛土を行ない、その後盛土の表面に汚泥を混入する。
- ・表面排水勾配を2～3%程度とる。
- ・汚泥を搬入後、敷きならし、水分の多いものは放置して天日乾燥する。その後ロータリーベーター等の深耕機で十分に混合する。
- ・汚泥の敷きならしにはマニヤスプレーター等の農業機械が適している。
- ・汚泥の混入厚は機械の種類によって異なるがおよそ20cmから30cmである。

3) 植穴客土

①適用範囲

・植樹及び街路のように限定された植栽地に適用する。

- ・混合土壌は下層土、工事残土等の有機物に欠ける土壌を利用する。

②作業手順

作業手順としては、以下の2とおりの方法が考えられる。

A : 土壌との混合→発酵→客土・植栽

B : 発酵→土壌との混合→客土・植栽

- ・A : 汚泥の発酵を土壌と混合し、切り返すことで促進する。汚泥混合土を堆積して発酵させる。
- ・B : あらかじめ処理場等で切り返し、発酵させた汚泥（コンポスト汚泥）を使用する場合で、発酵が十分に進んでいれば混合後すぐに

植栽が可能である。発酵させた汚泥の品質が安定していることが必要である。

発酵させた汚泥の品質が安定していることが必要である。発酵させた汚泥の品質が安定していることが必要である。

発酵させた汚泥の品質が安定していることが必要である。

③方法

高木の場合

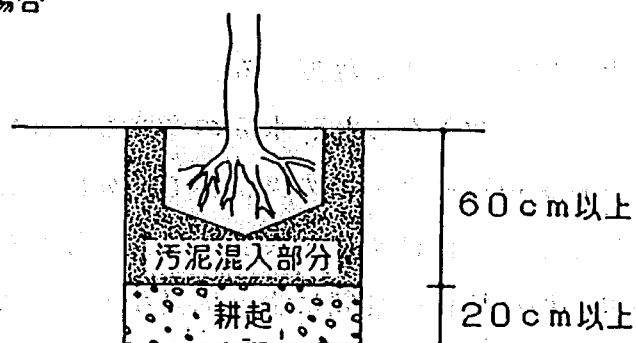


図 V-5 植穴客土-断面図

- ・植穴の形状は一例として以下のものである。汚泥を混入した土壌の必要量は植穴の容積から根鉢の容積を引いたものを目安とする。

表 V-10 緑化木の植穴形状と客土量

植穴形状	高 木		低 木
	幹回り60cm以下	幹回り15cm以下	
深さ(cm)	60~80	40~60	40
容積(m³)	1.4	0.5	0.15
最小直径(m)	1.5 以上	1.1 以上	0.6 以上

- ・過剰の水分を減少させ汚泥の発酵を促進するため、排水には十分留意する。
- ・下部の耕起層は透水性の確保のためであるが、対象地の土壌条件を考慮して必要に応じて行なう。

4) スポット施用、地表散布

①適用範囲

- ・植栽予定地、あるいは植栽地の養分がやや不足する場合、不足成分を元肥、追肥として補う意味で行なう。

②作業手順

(発酵) → 施用

- ・乾燥汚泥、コンポスト汚泥を使用する場合は発酵過程は不用である。
- ・脱水ケーキの場合は堆積切り返し等による発酵過程を、現地、あるいは処理場内において進めることで、利用が可能となる。

③方法

- ・スポット施用の方法は、下記のようなものであるが、最も一般的な方法はつぼ肥である。輪肥は最も望ましい施肥方法であるが、手間を多く必要とする。置肥の場合は、深さ5～10cmにすき込むこと。

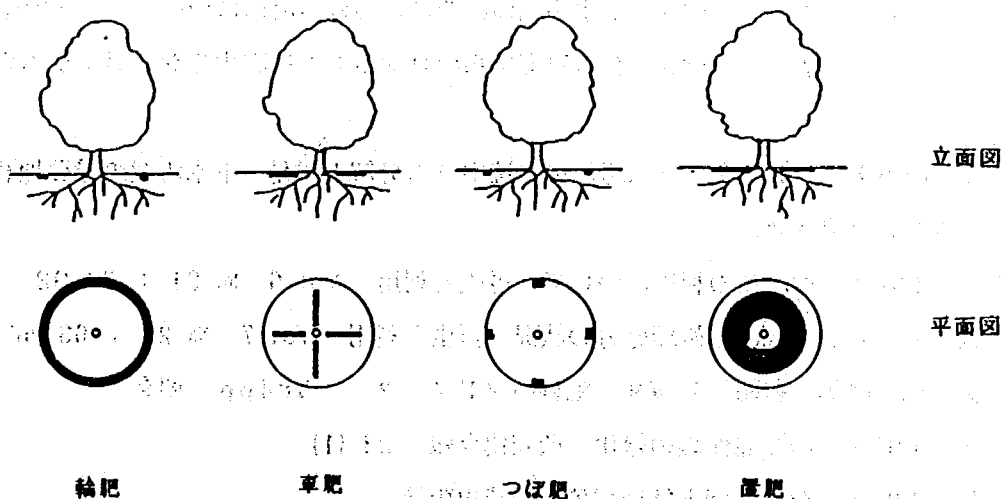


図 V-6 施肥方法と施肥位置

・地表散布

十分発酵したコンポスト汚泥、乾燥汚泥で行なう。芝生の場合は目土

と混合して散布する。

参 考 文 献

1. 伊藤忠夫・益子養明 1980 脱水ケーキの利用による砂地の改良に関する試験 69pp 茨城県土木部下水道課・茨城県林業試験所
2. 今治市 1979 マサ土育苗畑における汚泥施用試験 70pp 今治市
3. 印藤 孝 1976 工場緑化ハンドブック 363-364
4. 江川友治 監訳 1981 土壤肥料学の基礎 399pp 養賢堂
5. 江原 薫 1974 芝草と芝地 500pp 養賢堂
6. 岡沢邦明 1983 下水汚泥の緑農地利用について 再生と利用 Vol.6 No.21 : 49-56 下水汚泥資源利用協議会
7. 汚泥の農用地利用等への還元問題研究会 1983 汚泥の農用地等への還元問題について 43pp
8. 茅野充男 1983 下水汚泥コンポスト入門 188pp 下水汚泥資源利用協議会
9. 荻住 昇 1979 樹木根系図説 1211pp 誠文堂新光社
10. 熊沢喜久男・早瀬達郎 1976 汚泥の緑農地還元肥料化対策資料集 579pp フジテクノシステム
11. 下水汚泥資源利用協議会 1980 下水汚泥コンポストの指標 310pp
12. 下水汚泥資源利用協議会 1983 下水汚泥の緑農地における流通について 125pp
13. 下水汚泥資源利用協議会 1985 有機質廃棄物のコンポストに関するシンポジウム講演集 138pp
14. 河野通佳・山添文雄 1983 下水汚泥の土壌中での分解と挙動 下水汚泥の緑農地利用 59-75 下水汚泥資源利用協議会
15. 斎藤恵亮 1983 汚泥類の利用について 再生と利用 Vol.6 No.21 : 69-92
16. 塩路勝久 1984 下水汚泥処理処分の状況 再生と利用 Vol.7 No.25 : 63-66
17. 芝本武夫・塘 隆男 監修 1979 肥料ハンドブック 384pp 創文
18. 寺崎義男 1971 のり面保護の緑化 硫安協会報 21 (1)
19. 塘 隆男 1971 苗畑施肥と林地肥培 地球出版社
20. 藤井国博 1983 汚泥の土壌還元とその影響について 国立公害研究所研究発表予講集 22-23 国立公害研究所
21. 藤井国博 1983 汚泥の土壌還元とその環境影響に関する研究 再生と利用 Vol.6 No.21 : 43-48
22. 星野芳男 1983 下水汚泥コンポストの緑農地施用調査報告 再生と利用 Vol.6 No.23 : 37-53
23. 前窪伸雄 1979 張り芝前の土壌への混合施用実例 グリーン研究報告集 Vol.32 : 93-97
24. 前窪伸雄 1979 下水汚泥の芝生に対する効果について(その3) グリーン研究報告集 Vol.36 : 52-55

25. 山添文雄 1979 下水汚泥の肥料化 下水汚泥 45-66 博友社
26. 山添文雄 1984 汚泥の農用地等への還元問題について (説明会講演要旨) 再生と利用
Vol.7 No.24 : 66-73
27. 山添文雄 1984 最近における有機性汚泥研究の概要 再生と利用 Vol.7 No.25 : 34-40
28. 山田 要・海老原武久 1983 下水汚泥の農用地利用について 再生と利用 Vol.6 No.23 :
18-23
29. 和地 清 1984 土壌診断と汚泥利用(下) 再生と利用 Vol.7 No.26 : 101-104
30. 村崎史郎 1983 諸外国の下水汚泥等の土壌還元に関するガイドラインについて(Ⅱ) 再生と利用
Vol.6 No.20 : 57-64

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100

資料 - 1

下水汚泥のコンポスト化設備の実態(自治体保有の設備)

59年11月作成

59年11月作成

設 置 場 所		設 備 仕 様						投 入 脱 水 ケ ー キ			
都市名	名 称	(t/日) 能 力	1次発酵槽型式・発酵日数	2次発酵槽の方 式・日数	添 加 物	運転開始 年(昭和)	汚泥種類	脱水機種類	凝集剤 種 類	ケーキ 含水率(%)	
秋 田 市	市コンポストセンター	30	立型バドル式 12日	堆積 15日	もみから	57	生	ベルトプレス	高分子	78	
山 形 市	前明石ケーキ処理場	15	横型シャベル式 7日	1次槽兼用 7日	なし	55	消化	加 圧	無 機	65	
天 童 市	市終末処理場	5	立型サイロ式 14日	堆積 60日	おがくず	54	消化	逆 心	高分子	79	
郡 山 市	市終末処理場	12	横型スクープ式 10日	堆積 20日	なし	58	消化	真 空	無 機	75	
日 立 市	池の川処理場	15	立型落戸式 35日	1次槽で兼用	パーク	57	生	ベルトプレス	高分子	78	
釜 石 市	大平下水処理場	1~2	堆積型 20日	〃	いなわら	54	生	逆 心	高分子	75~80	
所 沢 市	市コンポストセンター	10	立型バドル式 10日	なし	なし	58	消化	真 空	無 機	75~80	
東 京 都	南多摩処理場	10 m ³	横型スクープ式 10日	なし	なし	55	生	加 圧	無 機	65	
穂 高 市	生活排水処理センター	1.5	横型円形オーガ式 50日	1次槽で兼用	もみから	54	生	逆 心	高分子	85	
茅 野 市	白樺湖浄化センター	3	横型スクープ式 10日	ホッパ式	なし	58	生	ベルトプレス	高分子	78	
野 沢 村	村終末処理場	4	立型多段式 10日	ホッパ式 5日	なし	58	消化	逆 心	高分子	81	
春日井市	高蔵寺浄化センター	13	円型オーガ式 14日	なし	なし	58	消化	真 空	無 機	80	
岡 山 市	高島浄化センター	0.55	立型バドル式 13日	堆積式 60日	おがくず	57	生	ベルトプレス	高分子	82	
鳥 取 市	末恒終末処理場	1.58	横型スクープ式 10日	堆積式 30日	なし	56	生	真 空	無 機	83	
鹿 児 島 市	下水汚泥堆肥化場	54	立型サイロ式 7日	堆積式 30日	なし	56	消化生	加 圧 ベルトプレス	無 機 高分子	65 80	
甲 府 市	大津終末処理場	35	立型サイロ式 14日	堆積式 60日	おがくず	58	消化	ベルトプレス	高分子	77	
札 幌 市	厚別工場	50	横型バドル式 14日	堆積式 48~60日	なし	59	生	加 圧	無 機	70	
茂 原 市	川中島処理場	11 m ³	立型落戸式 21日	堆積式 30日	おがくず	59	生	ベルトプレス	高分子	乾燥後 60	
福岡市*	市汚泥処理センター		横型シャベル式 7日	堆積式 7日	なし	47	消化生	加圧、真空 ベルトプレス	各 種	約 70	

実験設備保有都市：群馬県、東松山市、札幌市、大阪市、仙臺流域、京都、仙台等

民間等で設備を保有し、コンポスト化を行っている都市：酒田市ほか 20 自治体(建設省調べ)

※ 2次発酵以降は民間企業設備による。

(下水汚泥資源利用協議会 1985)

写 真 集

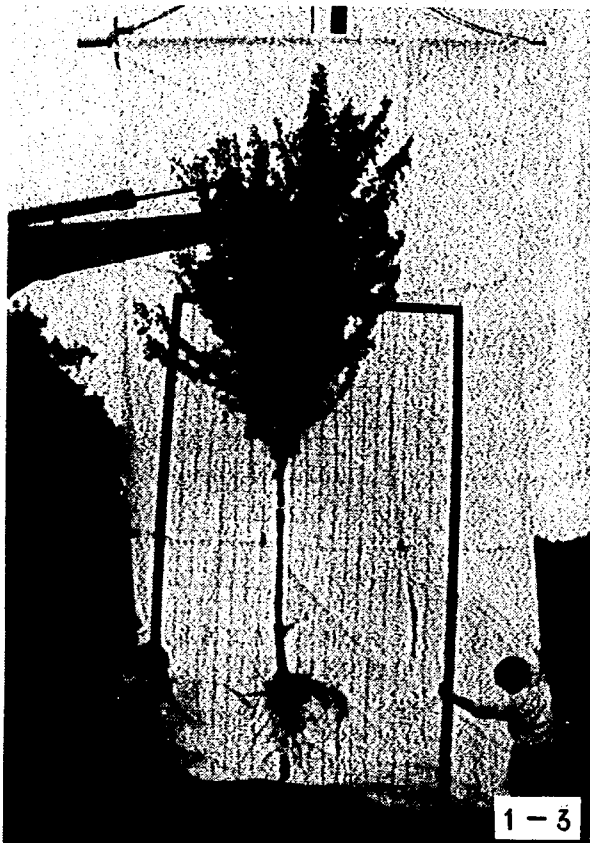


写真 1-1～1-4 は、石灰系脱水汚泥施用後4年目に盛りあげたトウカエデの写真である。汚泥施用により生育状態に差がみられる。

写真 1-1：対照区 1-2：汚泥（体積率で）15%混入区 1-3：汚泥30%混入区
1-4：汚泥45%混入区

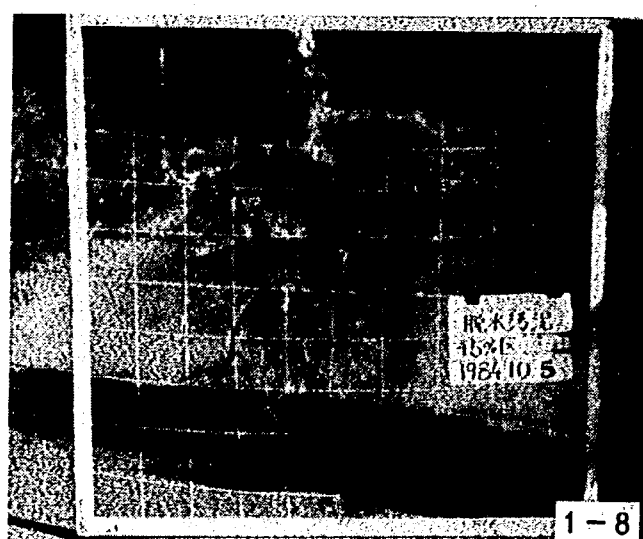
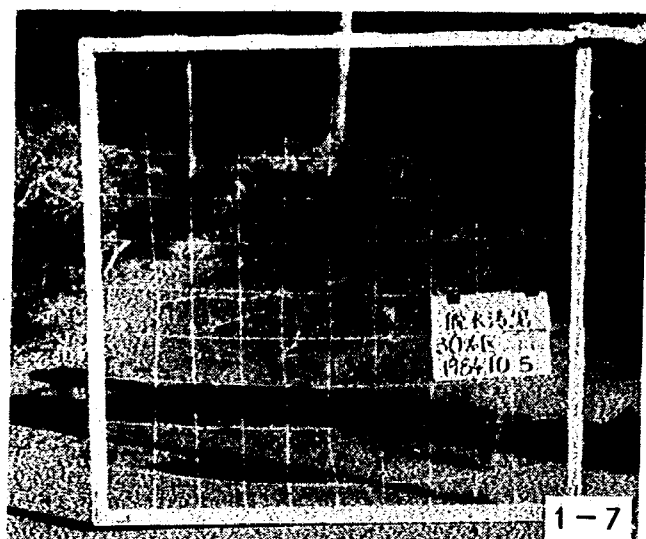
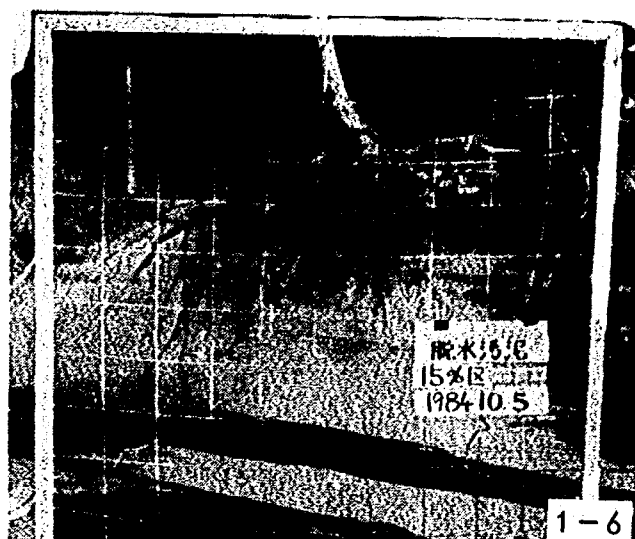
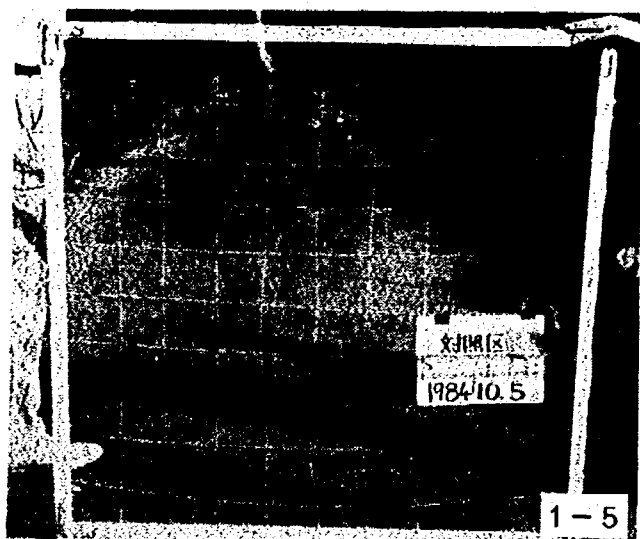


写真 1-5～1-8 は、石灰系脱水汚泥施用後4年目に掘り上げたトウカエデの根系写真である。
 写真 1-5：対照区 1-6：汚泥（体積率で）15%混入区 1-7：汚泥30%混入区
 1-8：汚泥45%混入区

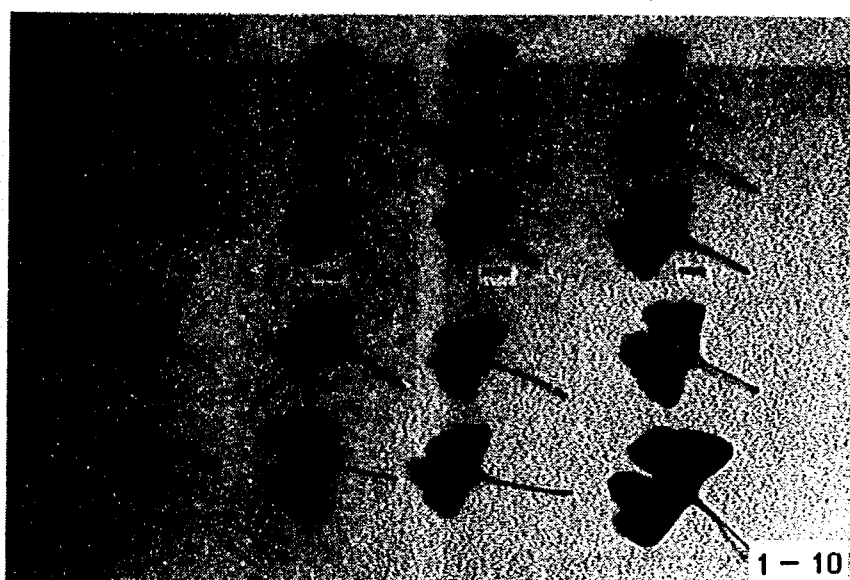
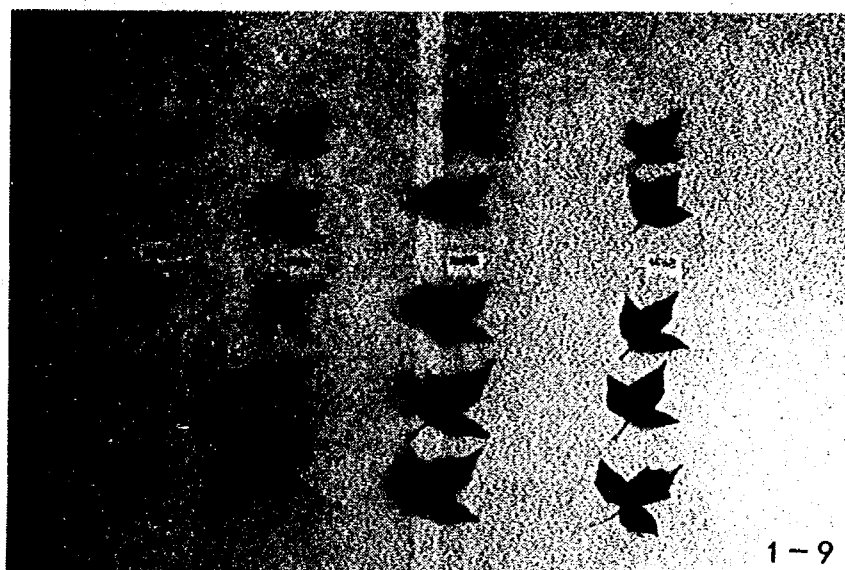


写真 1-9、1-10は、石灰系脱水汚泥施用4年目に各試験区の樹木から採集したトウカエデとイチョウの葉である。

写真 1-9：トウカエデの葉 1-10：イチョウの葉

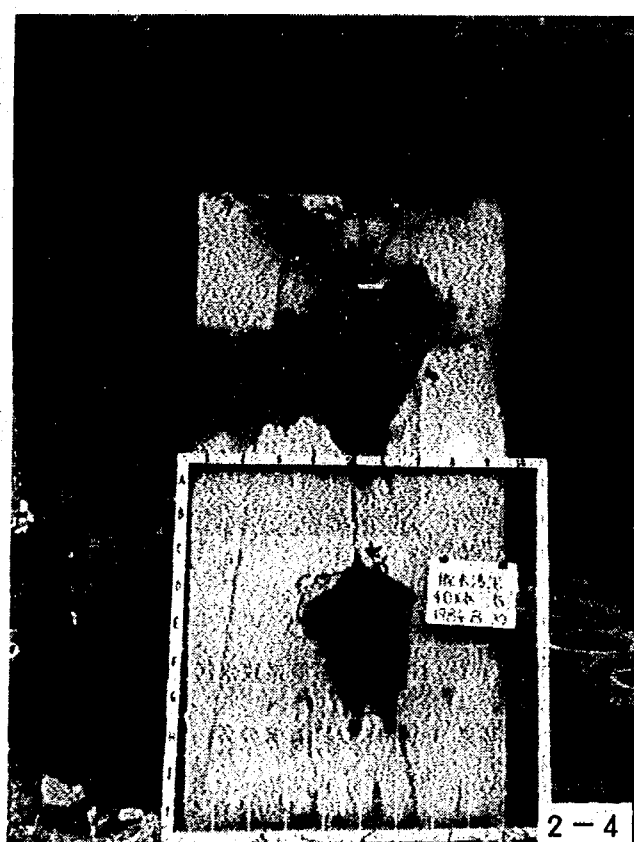
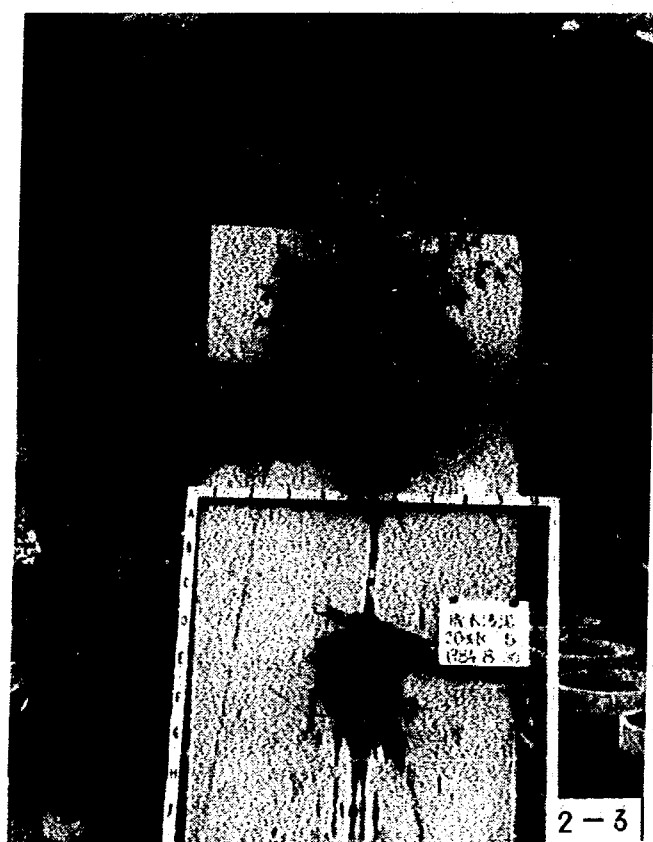
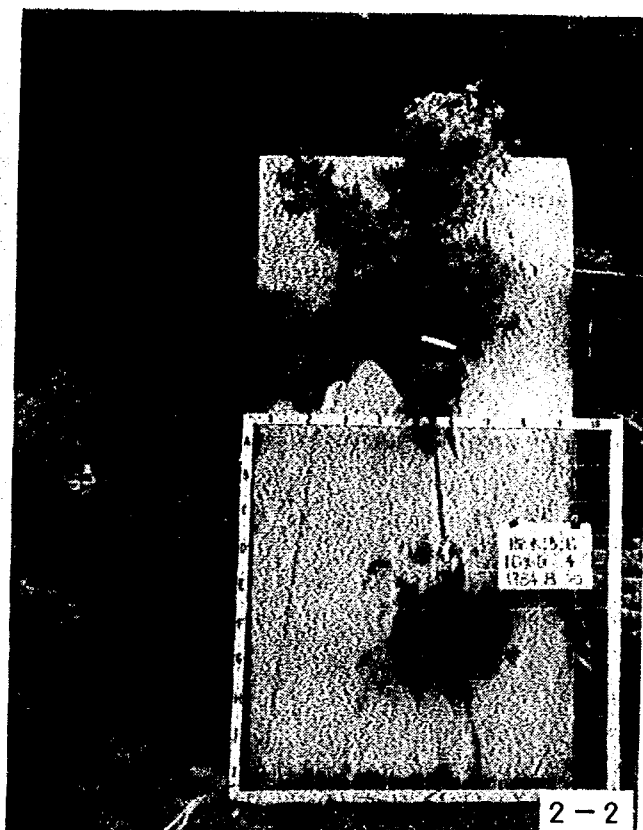
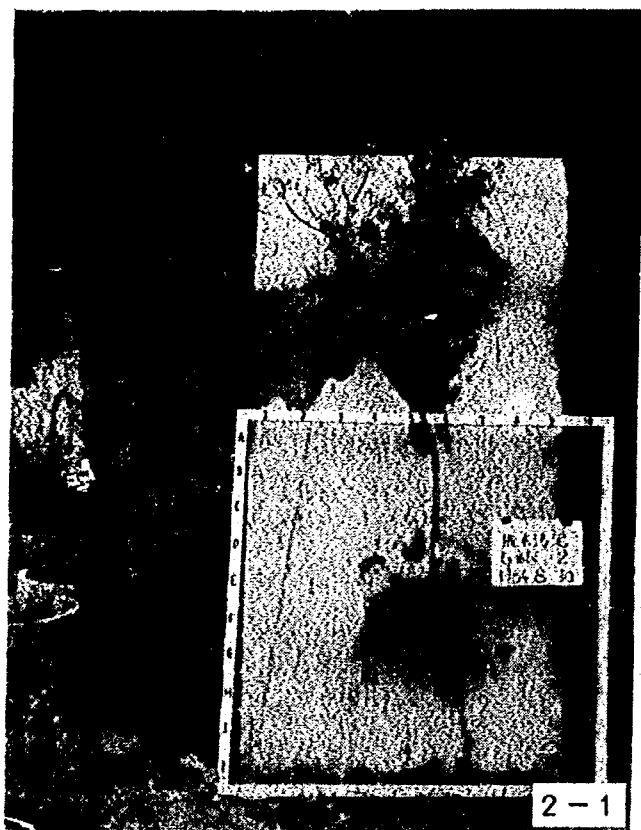


写真 2-1～2-4 は、石灰系脱水汚泥施用後3年目に廻り上げたイロハモミジの写真である。脱水汚泥40%混入区では、この年の夏に枯損が目立った。

写真 2-1：汚泥（休植率で）5%混入区 2-2：汚泥10%混入区 2-3：汚泥20%混入区
2-4：汚泥40%混入区

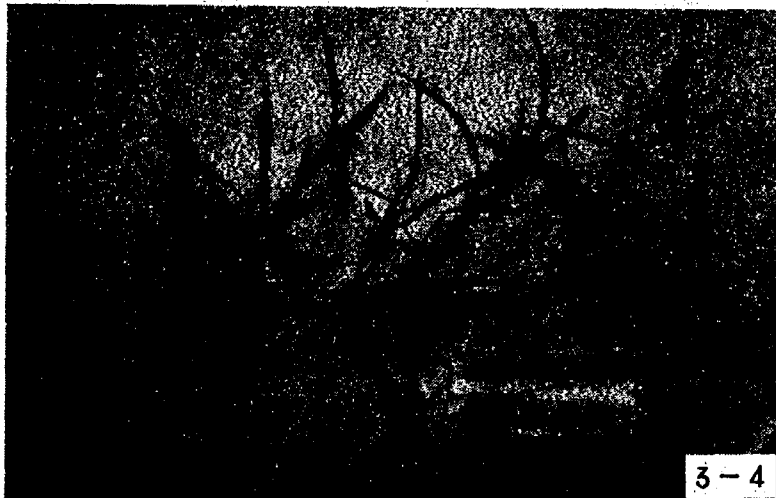


写真 3・1～3・4 は、石灰系汚泥を施用後 2 年目にホールカッターにより各試験区から採集したコウライシバの写真である。

写真 3・1：対照区 3・2：汚泥（体積率で）15%混入区 3・3：汚泥30%混入区
3・4：汚泥45%混入区

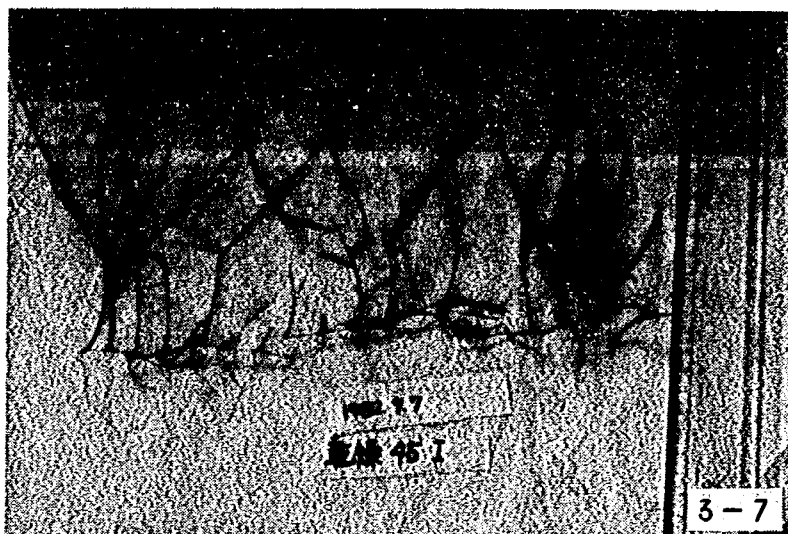


写真 3-5～3-7 は、石灰系乾燥汚泥を施用後 2 年目にホールカッターにより各試験区から採集したコウライシバの写真である。

写真 3-5：汚泥（体積率で）15%混入区 3-6：汚泥30%混入区 3-7：汚泥45%混入区

公共緑化のための下水汚泥
施用指針(案)

ISSN 0386-5878
土研資料 第2341号
昭和61年3月(1986年)

緑化研究室長 井上忠佳
主任研究員 田代順孝
現東北地建 藤原宣夫

要 旨

公共緑化における植栽基盤の造成に際して、下水汚泥(脱水ケーキ、コンポスト化汚泥、乾燥汚泥)を施用する場合の技術的内容について、5年間の試験調査の結果をふまえてとりまとめたものである。

キーワード：公共緑化，下水汚泥

郵便はがき

3 0 5 - □ □

40円切手
をはいて
下さ

茨城県筑波郡

豊里町大字旭一番地

建設省土木研究所

緑化研究室 御中

No. 003

No. 003

配布先氏名

配布先住所



土木研究所資料第 2341 号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

印

