

金沢港の埋没実態とそのメカニズム

Sedimentation in Kanazawa Port and its Mechanism

田中知足¹・由比政年²・高山知司³・栗山善昭⁴・山田貴裕⁵・石田 啓⁶

Tomoyuki TANAKA, Masatoshi YUHI, Tomotsuka TAKAYAMA, Yoshiaki KURIYAMA
Takahiro YAMADA and Hajime ISHIDA

This study investigated bathymetry changes and its causes in the access channel and basin of Kanazawa Port, which is suffering sedimentation, by analyzing field data of wave, current, sediment size and bathymetry. The results showed that the amount of the sedimentation is 168,000 m³/yr and that sands and silts transported by south-westward currents during storms and long-period oscillations inside the port cause the sedimentation. The numerical simulation model incorporating those sediment movements has well predicted the bathymetry change in the channel and basin.

1. はじめに

地域産業の国際競争力の強化や産業立地による地域の活性化が期待される金沢港では、近年の船舶の大型化に対応するため、平成18年度より大浜多目的国際ターミナル整備事業に着手している。平成27年度の完成を目指した同事業は、港内水域施設のうち、水深10mの大浜地区の航路泊地を水深13mまで増深することが計画され、完成に先立ち、事業効果の早期発現を図るため、暫定水深12mで供用が開始された(図-1参照)。こうした増深は、周辺で巻き上がった土砂の沈降を増大させるだけでなく、沈降した土砂が巻き上がりにくい漂砂環境を形成するため、港内へ流入する漂砂を抑制する効果的な埋没対策が必要である。

金沢港の港内埋没を検討した波間ら(2003)は、金沢港内で生じる副振動に着目した地形変化計算を行って、航路泊地の埋没の再現を試みているものの、底質条件を単一粒径としたこと、および波浪条件を単一波浪としたことが原因となって、定量的な再現精度に課題が残されている。

そこで、現地データに基づいた種々の解析によって埋没実態及び埋没メカニズムを明らかにし、将来における金沢港の埋没予測の精度を高めることを目的として、本研究を実施した。

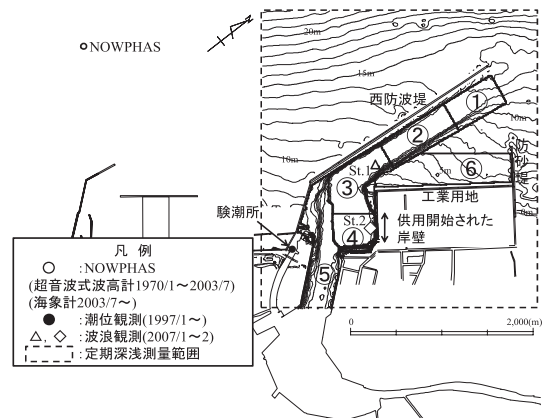


図-1 金沢港の施設名称と2009年の等深線

2. 金沢港の埋没実態

(1) 埋没特性

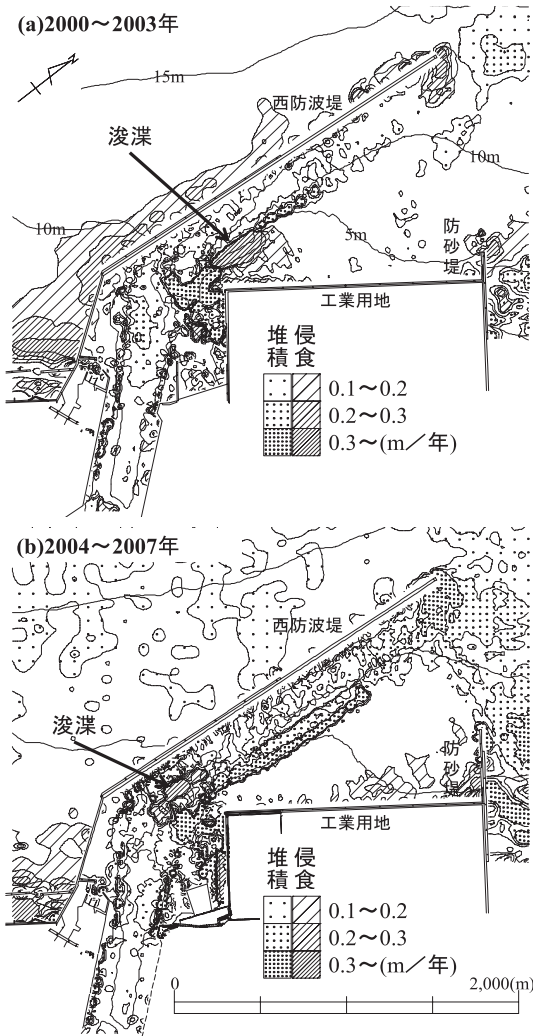
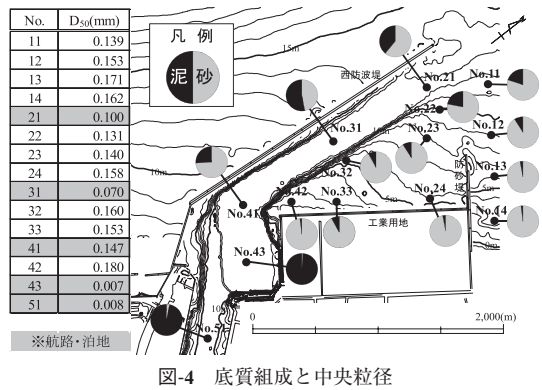
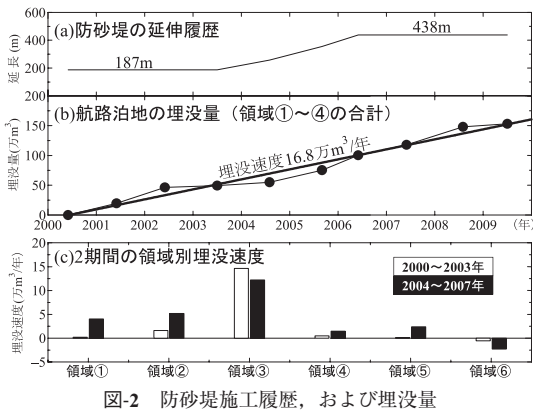
航路泊地を含む金沢港内の埋没特性を把握するため、深淺測量成果に基づいた地形変化解析を行った。

図-1に示す外郭施設のうち、港内に運ばれる漂砂を抑制する目的で現在整備が進められている防砂堤(図中右腕部)の延伸履歴を図-2(a)に示し、図-1に示す領域①~④の総埋没量を図-2(b)に示す。さらに、図-2(c)は、2004年以降に再び延伸された防砂堤の効果と影響を確認するため、防砂堤延伸前の2000~2003年と防砂堤延伸開始から大規模な浚渫工事直前の2004~2007年との2期間に分けた領域別埋没速度である。

図-2(b)に示す総埋没量は、毎年増加を続けており、直線近似により求めた埋没速度は16.8万m³/年に及ぶ。

図-2(c)に示す2期間の埋没速度を比較すると、主たる埋没域は、2期間ともに狭隘部(③)であるものの、2004年以降の埋没は、その狭隘部では緩和し、港口部

1 正会員	前 国土交通省 北陸地方整備局 金沢港湾・空港整備事務所長
2 正会員 博(工)	金沢大学 理工研究域 環境デザイン学系 教授
3 フェロー 工博	(財)沿岸技術研究センター
4 正会員 博(工)	(独法)港湾空港技術研究所 海洋・水工 部長
5 正会員	(株)エコー 調査・解析部
6 フェロー 工博	金沢大学 大学院 自然科学研究科 理工学域 環境デザイン学系 教授



布は、金沢港の狭隘部で埋没による堆積と浚渫による侵食が現れており、その他地域においては、0.3m/年以上となるような特徴的な変化は認められない。これに対し、図-3 (b) に示す2004～2007年の地形変化は、狭隘部の0.3m/年以上の変化に加え、防砂堤北側の浅海域からその沖合と、さらに狭隘部に至るまでの航路泊地上において、0.1m/年以上の埋没が連続して分布している。

(2) 底質分布特性

航路泊地とその周辺に沈降する底質の分布特性を把握する目的で2009年12月に採取分析した底質組成とその中央粒径を図-4に示す。

港外で採取されたNo.11～14の底質は、沖合に向かうにつれて泥分が多くなるとともに、中央粒径も細くなる。港内でも水深が10mより浅い工業用地前面の底質 (No.22～24, 32～33, 42) は、港外の底質とよく似た分布を示しており、泥分の含有率が低く、中央粒径0.13～0.18mmの砂質が分布している。

周辺に比べて水深が深くなる航路泊地上の底質のうち、No.41を除く4地点 (No.21, 31, 43, 51) の底質は、港外や工業用地前面の底質に比べて泥分の含有率が高くなって、中央粒径は0.1mm以下となる。

埋没量が最も多い狭隘部に位置するNo.41の底質は、泥分の含有率が25%程度であり、中央粒径も0.15mm程度と航路泊地上で採取された他の4地点の底質に比べて砂分が多い。

(3) 波浪特性

港内埋没に対しては、波浪の影響が強いものと考えられる。特に、波向は、漂砂方向に寄与するため、港内埋没を検討する上で非常に重要な要素となる。

図-1に示した金沢港沖のNOWPHASによる波浪観測は、超音波式波高計による観測が1970年1月から開始され、海象計に更新された2003年7月以降は、波向データも蓄積されている。そこで、金沢港に襲撃する波浪特性について調べるため、海象計設置後の5年分の波浪デー

(1), (2) で増加している。

図-3 (a) に示す2000～2003年の地形変化速度の平面分

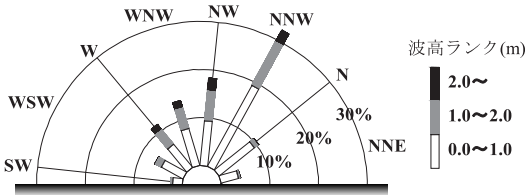


図-5 波高ランク別の波向出現頻度

タを用いて、波高・波向の出現特性を把握した。

図-5は、波高・波向別の出現頻度図である。最多出現波向は、出現率32.3%のNNWであり、次いで出現率18.3%のNWである。このように、金沢港に來襲する波浪の出現特性は、周辺海域で巻き上がった漂砂の南西方向の移動を示唆する結果であり、隣接する石川海岸の沿岸漂砂について検討した田中ら（1997）の卓越する漂砂方向と一致する。

(4) 副振動特性

金沢港の験潮所においてサンプリング間隔15sで測得された水位データを調べた波間ら（2003）は、金沢港では港口部を節とし、港奥部を腹とした周期40分の副振動が生じていると報告している。港内で生じる副振動に伴う流れは、港内に運ばれた底質や港内で巻き上がった底質の移動を助長する可能性がある。

ところが、図-1に示したようにに験潮所の位置は、水深の浅い幅50m程度の水路上に位置するため、報告される副振動は、地形的な制約条件下の特異な現象の可能性はある。そのため、同様の副振動が狭隘部の埋没域で生じているか、また、その流速が底質移動に影響するかについて、確認する必要がある。そこで、港内2地点で波浪観測を行って、副振動の有無を再度調べた。

冬季風浪を対象とした波浪観測は、図-1に示したSt.1, St.2の2地点に波高計を設置し、2007年1~2月にかけての40日間、サンプリング間隔0.5sの連続観測を実施した。こうして測得された2地点の水位および東方・北方流速成分に加え、同期間の験潮所の水位データも併せて収集し、それぞれのデータを6時間分毎に分割し、潮汐成分を取り除いた後にFFT法によるスペクトル解析を行った。その結果を図-6に示す。

3地点の水位に対しスペクトル解析を行った結果、何れも周期39分にスペクトル密度が大きくなる特徴が見受けられた。流速成分に対するスペクトル解析結果は、岸壁前面に位置するSt.2のスペクトル密度が小さいものの、狭隘部に位置するSt.1のスペクトル密度は、周期39分のスペクトル密度が増幅しており、特に、西防波堤法線方向と平行方向になるSt.1の北方流速成分のスペクトル密度は、東方流速成分に比べて1オーダー以上大きい。

さらに、防砂堤延伸前後の副振動の変化を調べるため、

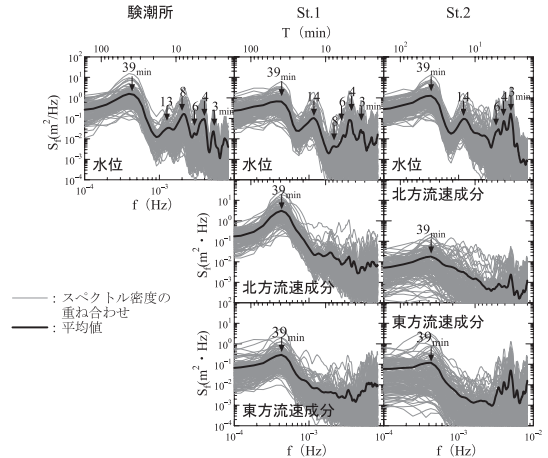


図-6 水位および流速成分の周波数スペクトル

験潮所の水位データについては、測得される1997年以降の全てのデータを収集し、同様のスペクトル解析に加え、ゼロアップクロス法で波高を算出した。その結果、防砂堤延伸前後の固有周期と振幅に変化は認められず、冬季には0.2m程度の振幅の増大が確認された。

以上より、金沢港では、港湾形状に依存した周期39分の副振動とこれに伴う流れが発生していたことが本研究によって追認された。

3. 埋没実態の再現計算

これまでの結果から、金沢港の埋没実態の特徴は、一様な速度で埋没していること、底質組成が航路泊地内で異なること、さらに埋没の激しい狭隘部には砂分が多く含まれることである。また、埋没を生じさせる外力としては、港内に向かう南西方向の漂砂を発生させる波浪および浮遊した底質の移動を助長する港内副振動が挙げられる。そこで、現地データで確認された種々の条件を計算条件に反映した地形変化シミュレーションを実施して金沢港の埋没実態の再現を試みた。

(1) 再現対象地形

再現対象地形は、再現対象期間を網羅する波向データがあり、かつ底質採取時期に近い方が望ましい。そこで、近年の埋没傾向を示す図-3 (b) の地形変化速度の平面分布と埋没量を再現対象地形とした。

(2) 計算方法

用いた計算方法は、エネルギー平衡方程式による波浪変形を計算した後、radiation stressを介して海浜流を算定して波と流れの場を評価し、浮遊砂の移流拡散方程式を解くフラックスモデル（鶴谷ら、1989）により地形変化を計算するものである。地形変化の計算においては、航路泊地およびその周辺に混在する泥分と砂分のそれぞれ

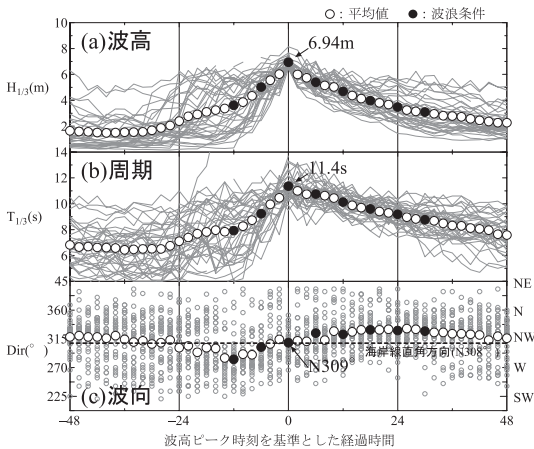


図-7 高波浪の重ね合わせ, および平均的特性

の移動を計算に考慮する必要がある。そのため、底質別に底面せん断力および漂砂量を求め、漂砂の連続式で地形変化(片寄ら, 2007)を求めることとした。

(3) 計算条件

a) 波浪条件

NOWPHASで観測された39年分の波浪データのうち、高波浪の上位39位から波高ピーク時刻の前後48時間を抽出し、波高と周期の経時変化を重ね合わせた結果を図-7(a)と(b)に示す。また、波向については、2003年7月以降に来襲した高波浪のうち、波高3m以上の高波浪を抽出し、波向の経時変化を重ね合わせた結果を図-7(c)に示す。

波高は、-18時間から3mを超えて発達し、最盛期には、6.94mに達する。その後、時間をかけて徐々に減衰し+30時間に再び波高3mを下回る。こうした波高の発達・最盛・減衰過程に応じた変化が周期についても認められる。波向は、波高が発達し始める24時間前からW方向の波が来襲し、波高ピーク時刻には、海岸線直角方向に変化し、減衰期には港内に入射しやすいNW方向に転じる。

以上のように、冬型気圧配置の北上による波の発達・最盛・減衰過程といった日本海側特有の変化を捉えた、-18~30時間までを6時間毎に平均した8波浪を波浪条件として与えることとした。さらに、後述の巻上げ係数に波の出現率を乗じて、通年来襲する波浪の出現特性も計算に考慮した。

b) 境界条件

港内で確認された副振動を海浜流計算に考慮するため、験潮所の振幅が0.2m、周期が40分になるよう規則的な水位変動を沖側境界で与えた。

c) 底質条件

底質条件は、2009年の底質採取結果を勘案して、泥分と砂分の粒径をそれぞれ0.007mm、0.15mmとした。また、

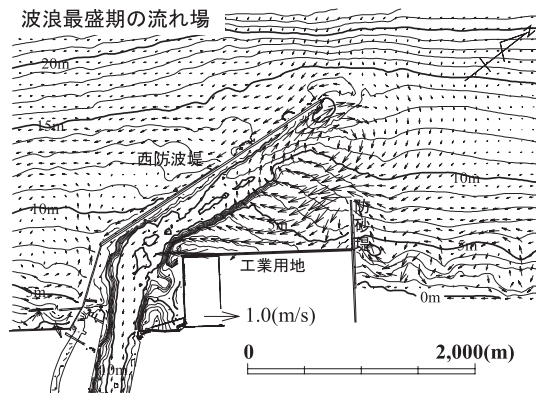


図-8 流況計算結果

それぞれの沈降速度と巻上げ限界せん断力は、Soulsby(1997)に倣い、0.004cm/sと1.589cm/sを沈降速度として与え、0.028N/m²と0.140N/m²を巻上げ限界せん断力として与えた。さらに、再現対象初期の2004年の初期含泥率のうち、港外および工業用地前面の含泥率は、水深を関数とした近似式から面的に与え、航路泊地上の含泥率は、固定床で計算した波と流れから求めた底面せん断力を関数とした近似式に基づき面的に与えた。底質の巻上げ係数は、泥分・砂分ともに試行計算の上0.0154とし、これに波の出現率を乗じて再現計算を実施した。

(4) 計算結果

図-8は、波浪最盛期における鉛直平均流速の流速ベクトル図である。西防波堤による波の回折域となる港口部では、循環流が形成されている。一方、工業用地前面では、港口部に向かう循環流の他に、工業用地に沿って狭隘部に向かう0.5m/s以上の速い流れが形成されている。これに対し、狭隘部の流速は0.1m/s以下となって、工業用地前面に比して流速が減衰している。しかしながら、副振動による流速を加えることによって、狭隘部においても泥分の移動限界以上の流速となっている。

図-9は、48時間経過後の地形変化の計算結果であり、図-10は、図-2(c)に示す領域別埋没量に採取分析した底質の含有率を乗じて求めた底質組成別埋没量を実測値と計算値で比較した結果である。

図-9に示す計算による地形変化は、地形変化解析で確認された防砂堤北側の浅海域からその沖合、さらに狭隘部に至るまでの連続した埋没を再現していることに加え、埋没の激しい狭隘部で0.3m以上の埋没も再現している。

実測値と計算値を定量的に比較した図-10(a)をみると、領域⑥の実測値が侵食傾向を示すのに対し、計算値が堆積傾向を示す点を除けば、港口部および狭隘部の埋没を定量的によく再現している。

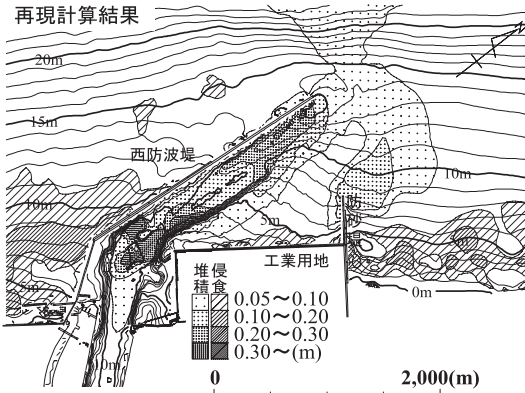


図-9 地形変化計算結果

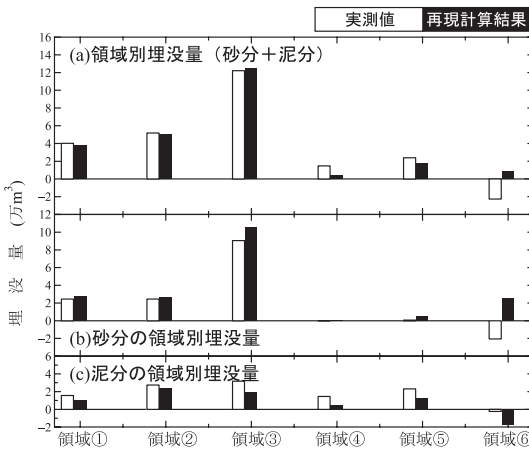


図-10 領域別底質組成別の埋没量

底質組成別に埋没量を求めて、実測値と計算値の質的な比較を行った図-10 (b) (c) によると、泥分と砂分が同じ割合で埋没する港口部の実測値 (①, ②) に対し、計算も泥分と砂分がほぼ同じ量だけ埋没している。また、砂分の含有率が75%程度の割合で埋没する狭隘部の実測値 (③) に対しても、計算による砂分の埋没量は、泥分と砂分の総埋没量の約80%を占めた。さらに、砂分の含有率が5%以下の港奥部 (④, ⑤) の埋没に対しても、計算による砂分の埋没量は、ほぼゼロとなった。このように、航路泊地上の質的に異なる埋没を、計算は再現している。

したがって、種々の条件を考慮して実施した再現計算は、金沢港の埋没実態が示す定量的・定性的な側面だけでなく、砂と泥の混合状態という質的な状況変化も再現しているといえる。

副振動を考慮したことによる効果を確認するため、副振動の有無における領域別埋没量を比較した。

図-11は、副振動を考慮したことによる埋没増加量

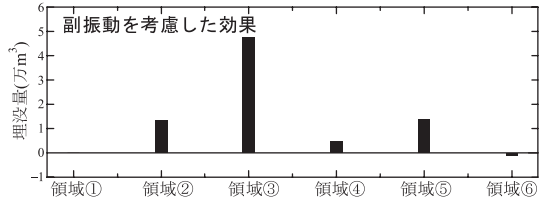


図-11 副振動を考慮したことによる埋没増加量

(砂分と泥分) である。港口部に位置する領域①や工業用地前面の領域⑥の埋没増加量に変化は認められない。これに対し、埋没の激しい領域③は、副振動を考慮したことで、埋没量が5万m³程度に増加している。さらに、港奥に位置する領域④, ⑤は、副振動を考慮したことで、それぞれ0.5万m³, 1.4万m³の増加を示す。

したがって、現地で確認された副振動も計算に考慮したことで、航路泊地に移動する砂移動が助長され、再現性が向上したと言える。

4. まとめ

以上の結果を踏まえると、以下のように結論付けられる。

- ① 航路泊地の埋没は、防砂堤の延伸前後で埋没域に変化が生じるものの、ほぼ一様な速度で増加していた。
- ② 埋没の激しい狭隘部の底質は、周辺の航路泊地と異なり、砂質分が多く含まれていた。
- ③ 埋没の主要起因は、大きな砂移動を生じさせる波浪と浮遊砂の移動を助長する副振動であった。
- ④ 波浪観測データから得られた波浪の発達・最盛・減衰過程や現地の底質特性、副振動特性を考慮して計算した結果、計算は金沢港の埋没実態を精度良く再現していた。

謝辞：本研究の遂行にあたり、貴重なご意見を賜った「金沢港港内埋没対策検討会」の委員各位に謝意を表する。

参考文献

片寄 誠・村上敏幸・山田貴裕・原 信彦 (2007)：八戸港内の埋没実態と予測モデルの構築，海岸工学論文集，第54巻，pp. 431-435。
 田中茂信・佐藤慎司・川岸真一・石川俊之・山本吉道・浅野剛 (1997)：石川海岸における漂砂機構，海岸工学論文集，第44巻，pp. 661-665。
 鶴谷広一・村上和男・入江 功 (1989)：多層レベルモデルによる航路埋没の予測計算，海岸工学論文集，第36巻，pp. 379-383。
 波岡純男・高橋政秋・松本祐二・山田貴裕・黒木敬司 (2003)：金沢港内の堆砂量とその平面分布の予測，海岸工学論文集，第50巻，pp. 251-255。
 Richard Soulsby (1997)：Dynamics of marine sands (A manual for practical applications), pp. 132-137。